

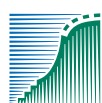


Flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas

Anne Elings, Feije de Zwart, Jan Janse, Fokke Buwalda & Leo Marcelis



Gefinancierd door:



landbouw, natuur en
voedselkwaliteit

Productschap  Tuinbouw
Voor een bloeiende zaak

Nota 383



Flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas

Anne Elings¹, Feije de Zwart¹, Jan Janse², Fokke Buwalda² & Leo Marcelis¹

¹ Plant Research International (PRI)

² Praktijkonderzoek voor Plant & Omgeving (PPO)

© 2006 Wageningen, Plant Research International B.V.

Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch, mechanisch, door fotokopieën, opnamen of enige andere manier zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Plant Research International B.V.

Plant Research International B.V.

Adres : Droevendaalsesteeg 1, Wageningen
: Postbus 16, 6700 AA Wageningen
Tel. : 0317 - 47 70 00
Fax : 0317 - 41 80 94
E-mail : info.pri@wur.nl
Internet : www.pri.wur.nl

Inhoudsopgave

	pagina
0. Samenvatting	1
1. Inleiding	3
1.1 Algemene inleiding	3
1.1 Doelstellingen	3
2. Fysiologische achtergronden	5
2.1 Het stabiliseren van de assimilatenbalans	5
2.2 De assimilatenbalans	5
2.2.1 Assimilatenbalans	5
2.2.2 Drogestofverdeling	8
2.2.3 Drogestofpercentage van de vruchten.	9
2.3 De na te streven balans	9
2.3.1 Waarom de assimilatenbalans stabiliseren?	9
2.3.2 De streeflijn	10
2.3.3 Meerdere streeflijnen	10
2.4 Het kasklimaat	12
3. Verkennende berekeningen	13
3.1 Historisch onderzoek	13
3.1.1 Samenvatting van onderzoek 'Temperatuurregeling in komkommer'	13
3.2 Gewasfysiologische verkenningen	14
3.2.1 Inleiding	14
3.2.2 Materiaal en methoden	14
3.2.3 Winterteelt	15
3.2.4 Zomerteelt	18
3.2.5 Najaarsteelt	21
3.2.6 Overzicht van de drie seizoenen	24
3.2.7 Volledige stabilisering van de assimilatenbalans	25
4. Energiebesparing in de praktijk	27
4.1 Een praktijksituatie	27
4.2 Narekenen van de praktijksituatie	28
4.2.1 Gewasgroei	28
4.2.2 Instellingen kasklimaat en energieverbruik	28
4.3 Toepassen van MTI in winter, zomer en herfst	30
4.3.1 Leeswijzer	30
4.3.2 Procedure om de assimilatiebalans te stabiliseren	31
4.3.2 Temperatuur	32
4.3.3 Assimilatenbalans	32
4.3.4 Gasverbruik	33
4.3.5 Fotosynthese	35
4.3.6 Drogestofoename gewas	36
4.3.7 Drogestofoename vruchten	37

	pagina
4.3.8 Drogestofverdeling en plantbelasting	38
4.3.9 Drogestofpercentage vruchten	42
4.3.10 Versproductie	42
4.3.11 Aantal geoogste vruchten	47
4.3.12 Vruchtgewicht	48
4.3.13 Vruchtlengte	48
4.3.14 Stabiliteit	49
4.3.15 Samenvatting	52
5. Doelstellingen	55
6. Discussie	57
7. Telerssamenvatting	63
8. Referenties	67

0. Samenvatting

Binnen de gebruikelijke niveaus van CO₂ en luchttemperatuur in de kas is het stralingsniveau het meest bepalend voor de aanmaak van assimilaten. Bij vruchtgroenten wordt de vraag naar assimilaten voornamelijk bepaald door de temperatuur en het aantal vruchten dat aan de plant hangt. Een hogere temperatuur heeft een hogere vraag naar assimilaten tot gevolg. De verhouding tussen het aanbod van assimilaten en de vraag naar assimilaten wordt de assimilatenbalans genoemd. Doordat de straling van dag tot dag enorm kan fluctueren, fluctueert de assimilatenbalans tijdens het seizoen ook heel erg. Deze fluctuatie heeft negatieve gevolgen voor de vruchtzetting, uitgroei duur, vruchtgrootte en vruchtkwaliteit.

Een stabiel patroon van vraag en aanbod heeft een gunstig effect op gewaseigenschappen zoals plantopbouw, plantbelasting en drogestofverdeling, en uiteindelijk op de productie. Het is dus aantrekkelijk om vraag en aanbod van assimilaten in evenwicht te brengen en dus de assimilatenbalans te stabiliseren. Omdat de assimilatenbalans wordt bepaald door straling en temperatuur, worden deze grootheden gekoppeld en dit biedt de mogelijkheid om energie te besparen.

Het feit dat de temperatuur een belangrijke rol speelt bij de regulatie van de assimilatenbalans biedt mogelijkheden om op zoek te gaan naar een nieuwe energiebesparende temperatuursturing. In het door LNV en PT gefinancierde project 'Meerdaagse temperatuur instelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas' wordt dit ten uitvoer gebracht.

Voor het voorbeeldgewas komkommer zijn er berekeningen met het INTKAM gewasgroeimodel van PRI en het KASPRO kasklimaatmodel van PRI (voorheen A&F) uitgevoerd. Hierbij geeft KASPRO aan wat qua temperatuur binnen de setpoints haalbaar is, en geeft INTKAM aan wat de gevolgen voor het gewas zijn. Er is uitgegaan van de in 2004 opgetreden praktijksituatie. De resultaten zijn samengevat in Tabel 0.1.

Tabel 0.1. Overzicht van berekende gasbesparing en versproductiestijging voor de drie komkommerteelten in een jaar als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd. Er zijn drie verschillende doelstellingen weergegeven: maximale energiebesparing bij gelijkblijvende productie, maximale productiestijging bij gelijkblijvend energieverbruik, en een matige energiebesparing bij een matige productiestijging, waarbij verminderd risico wordt gelopen.

	Winter	Zomer	Herfst	Totaal
Referentie				
Gasverbruik (m ³ m ⁻²)	22.5	6.5	11.3	40.3
Versproductie (kg m ⁻²)	26.9	33.5	22.8	83.2
Doel				
Energiebesparing (m ³ m ⁻²) (zonder productieverlies)	- 2.25 (10%)	- 1.5 (23%)	- 1.5 (13%)	- 5.25 (13%)
Hogere versproductie (kg m ⁻²) (bij gelijk energieverbruik)	+ 1.5 (5.7%)	+ 1.9 (5.6%)	+ 1.0 (4.2%)	+ 4.4 (5.3%)
Verminderd risico				
- energiebesparing (m ³ m ⁻²)	- 1.1 (5%)	- 0.75 (12%)	- 0.75 (7%)	- 2.6 (7%)
- hogere versproductie (kg m ⁻²)	+ 0.75 (3.4%)	+ 0.95 (3.3%)	+ 0.50 (2.1%)	+ 2.2 (2.1%)

De assimilatenbalans kan op een energiezuinige wijze worden gestabiliseerd door het warmteoverschot van de ene dag uit te ruilen tegen het warmtekort van een andere dag. Er is dan op seizoensbasis minder energie nodig om dezelfde gemiddelde temperatuur en een ongeveer gelijke productie te behalen. Als dit wordt gedaan, kan in het geval van een winterteelt en een herfstteelt bij een lager gasverbruik dezelfde productie worden gehaald. Of het is mogelijk om bij hetzelfde energieverbruik een productiestijging te realiseren. Het is zelfs mogelijk om met minder energie een hogere productie te krijgen, zonder veel risico. Berekeningen geven aan dat in de winter bij eenzelfde energieverbruik de productie kan stijgen van ongeveer 27 kg m² naar ongeveer 28,5 kg m², of dat bij een gelijke productie het gasverbruik afneemt van ongeveer 22,5 m³ m² naar ongeveer 20,3 m³ m². Berekeningen voor een zomerteelt geven aan dat bij eenzelfde gasverbruik de productie kan stijgen van 33,5 kg m² naar 35,4 kg m², of dat bij eenzelfde productie het gasverbruik kan dalen van 6,5 m³ m² naar 5 m³ m². Berekeningen voor een herfstteelt geven aan dat bij eenzelfde gasverbruik de productie kan stijgen van 23 kg m² naar 24 kg m², of dat bij eenzelfde productie het gasverbruik kan dalen van 11,5 m³ m² naar 10 m³ m². Op jaarbasis kan de productie kan bij gelijk energieverbruik ten opzichte van een standaardregime met 5,3% stijgen, en kan het gasverbruik bij gelijkblijvende versproductie met 13% dalen. Omdat dan op het scherpst van de snee geopereerd moet worden, kan de teler er voor kiezen om minder risico te nemen en productiestijging en energiebesparing te combineren.

Evenwicht in de assimilatenbalans kan dus een aanzienlijke energiebesparing opleveren, zonder productieverlies. Dit zijn aanzienlijke besparingen.

1. Inleiding

1.1 Algemene inleiding

Het sturen van de assimilatenbalans van het gewas door middel van meerdaagse temperatuurinstelling heeft tot doel om het gewas in de juiste fysiologische balans te houden. Centraal hierbij staat de assimilatenbalans. Dit is de verhouding tussen het assimilatenaanbod door de fotosynthese en de assimilatenvraag door de vruchten en de vegetatieve delen. Door de juiste assimilatenbalans na te streven wordt gepoogd de productie, productkwaliteit en productieregelmaat te verbeteren, en tot energiebesparing te komen. De regeling is dus gebaseerd op, en redeneert vanuit, de toestand van het gewas, en het nagestreefde klimaat is hier een afgeleide van. De regeling is daarnaast op de toekomst gericht door rekening te houden met de klimaatverwachting en de reactie van het gewas hierop. Hiermee wordt een nieuwe ontwikkeling toegevoegd aan het regelen van de temperatuur in kassen.

Het is bekend dat door toepassing van temperatuurintegratie energie bespaard kan worden, en dat temperatuurintegratie over meerdere dagen meer energiebesparing kan opleveren dan temperatuurintegratie binnen een dag (Van de Braak & De Zwart, 2001). Het is aannemelijk dat dit energetische gegeven ook geldt voor meerdaagse temperatuurinstelling. Het is echter minder goed bekend wat de gevolgen van de verschillende temperatuurinstellingen voor de kwantiteit en kwaliteit van de productie zijn. Dit houdt verband met het effect van temperatuur op diverse gewasprocessen. Sommige processen worden op de korte termijn door de temperatuur beïnvloed, zoals fotosynthese en respiratie, terwijl andere processen op de langere termijn worden beïnvloed (zoals vruchtzetting en bladontwikkeling).

Stabiliteit in de productie is belangrijk. De productie van vruchtgroenten zoals komkommer en paprika wordt gekenmerkt door pieken en dalen (zie o.a. Marcelis, 1994). Stabilisatie is voor de teler erg aantrekkelijk vanwege de meer continue bedrijfsvoering, betere kwaliteit, en financiële opbrengsten. Juiste temperatuursturing kan hiertoe bijdragen (Buwalda *et al.*, 2003; Rijdsijk *et al.*, 1998; Van den Berg *et al.*, 2001).

Er wordt in praktijkgerichte computerregelingen niet expliciet rekening gehouden met de toestand van het gewas, ook al zou dit voor een tuinder heel vanzelfsprekend zijn. Deze kijkt immers eerst naar het gewas om vervolgens een beslissing te nemen. Daarnaast houden computerregelingen voor temperatuurinstelling in het algemeen geen rekening met andere klimaatfactoren (zowel van de afgelopen periode als van het voorspelde klimaat in de komende periode). Met name CO₂ en relatieve luchtvochtigheid zijn in verband met productie en energiebesparing van belang. Regelingen die dit wel doen (bijv. de Econaut) houden geen rekening met terugkoppeling met het gewas.

Dit project (PT-11696) beoogt op grond van fysiologische kennis invulling te geven aan het bepalen van de setpoints voor meerdaagse temperatuurregeling. Hierbij staan de volgende vragen centraal:

1. Hoe kan op basis van gewasfysiologische kennis de beste invulling aan temperatuurinstelling worden gegeven?
2. Welke productiewinst is er te behalen, in termen van hoeveelheid en regelmaat?
3. Welke energiewinst is er te behalen?

1.1 Doelstellingen

De doelstellingen van het project luiden als volgt:

Technische doelstellingen

- Het specificeren van de meest geschikte gewasmerk(en) waarmee de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag gestuurd kan worden.
- Het vaststellen van het gewenste patroon van assimilatenaanbod en -vraag.

- Het bepalen van de effecten van klimaat- en teeltfactoren (naast temperatuur, ook straling, CO₂ en luchtvochtigheid) op de assimilatenbalans. Hierbij wordt aandacht besteed aan de mate waarin bijvoorbeeld temperatuur en straling vergelijkbare effecten op het gewas hebben.
- Nagaan welk type model het meest geschikt is voor meerdaagse temperatuurregeling op basis van de assimilatenbalans: een compleet gewasmodel of een afgeleid eenvoudig model (bijv. RRT model).
- De koppeling van gewas- en kasmodel om optimalisatie van een regelstrategie mogelijk te maken. Optimalisatie zal plaatsvinden vanuit zowel het perspectief van energiebesparing als vanuit dat van de productie.
- De ontwikkeling van een meerdaags regelmodel voor meerdaagse temperatuurregeling, dat door de praktijk hanteerbaar is.

Energiedoelstellingen

Het onderzoek levert een directe bijdrage aan de energiedoelstellingen:

- Reductie van het primaire energiegebruik met 5% ($2.25 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ jaar}^{-1}$) door toepassing van een flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans, ten opzichte van temperatuurintegratie binnen een dag. Bij een jaarlijks gasverbruik van 45 m^3 per netto m^2 , bij 700 ha komkommerteelt, betekent dit $1.6 \times 10^7 \text{ m}^3$ jaar reductie gasgebruik.

Nevendoelstellingen

- Door het realiseren een regelmatigere oogst het verbeteren van de stuurbaarheid van de komkommerneten en het verminderen van het bedrijfsrisico voor de teler.

2. Fysiologische achtergronden

2.1 Het stabiliseren van de assimilatenbalans

Centraal in het project 'Flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas' staat het stabiliseren van de assimilatenbalans van het gewas. De assimilatenbalans is de verhouding tussen het aanbod van assimilaten en de vraag naar assimilaten. Door diverse oorzaken (zie de volgende paragrafen) kan de assimilatenbalans van dag tot dag erg variëren.

Stabilisatie van de assimilatenbalans heeft als doel om andere gewaseigenschappen, met name die gericht op de productie, eveneens te stabiliseren en/of te verbeteren. Door een betere en stabielere verdeling van de drogestof naar de vruchten kan een verhoging van de drogestofproductie van de vrucht worden bereikt, en vertonen vruchtgewicht, vruchtlengte en vruchtuitgroeiduur minder variatie over het seizoen. De stabilisatie van de assimilatenbalans kan worden bereikt door de etmaaltemperatuur aan te passen, aangezien de vraag naar assimilaten voor een groot deel door de temperatuur wordt bepaald (vandaar de term 'temperatuurinstelling'). Door energieoverschotten en -tekorten over meerdere dagen tegen elkaar uit te wisselen (vandaar de term 'meerdaags') kan daarnaast energiebesparing worden bereikt.

Deze aspecten worden in de volgende hoofdstukken gedetailleerd uitgewerkt.

2.2 De assimilatenbalans

In de volgende paragrafen wordt dieper ingegaan op de fysiologische achtergronden van de assimilatenbalans.

2.2.1 Assimilatenbalans

De assimilatenbalans is de verhouding tussen het totale aanbod van assimilaten en de totale vraag naar assimilaten. Het aanbod wordt verzorgd door de assimilatie in de groene delen van de plant, en de vraag is afkomstig van zowel de vruchten als de vegetatieve delen. Vrijwel altijd is de vraag hoger dan het aanbod, zodat de balans kleiner is dan 1.

Assimilatenbalans = Aanbod van assimilaten / Vraag naar assimilaten

Zowel aanbod van als vraag naar assimilaten worden uitgedrukt in $\text{g CH}_2\text{O m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

Een hoger aanbod van assimilaten wordt gerealiseerd door een hogere straling of een hogere CO_2 concentratie, wat onder de gangbare kasomstandigheden de meest bepalende factoren zijn voor de fotosynthese. Temperatuur heeft een veel kleiner effect. Het aanbod van assimilaten zou kunnen worden beïnvloed met behulp van schermen of assimilatiebelichting. Echter, meer schermen tijdens de meest zonnige uren op een dag heeft al snel een negatief effect op de productie, minder schermen leidt tot temperatuurproblemen, en het toepassen van assimilatiebelichting is kostbaar. Als wordt uitgegaan van hoge CO_2 -concentraties in de winter, dan heeft toedienen van extra CO_2 slechts een beperkt effect. In de winter is er vaak een CO_2 -overschot, zodat bijstoken niet nodig is om extra CO_2 te verkrijgen, maar als bijstoken nodig is, dan zal dit snel gepaard gaan met warmtevernietiging, wat energetisch niet aantrekkelijk is. In de zomer, in verband met de open ramen, kunnen hoge CO_2 concentraties niet worden gerealiseerd. Als er dus van uit wordt gegaan dat deze maatregelen niet in aanmerking komen, moet worden geconcludeerd dat het aanbod van assimilaten niet op de korte termijn kan worden beïnvloed.

De vraag naar assimilaten wordt gedomineerd door de vraag van de vruchten. Dit is sterk door de temperatuur en de plantbelasting bepaald, waarbij een hogere temperatuur of plantbelasting voor een hogere vraag zorgt. De plantbelasting kan niet op de korte termijn worden beïnvloed, maar de luchttemperatuur in de kas wel. De vraag naar

assimilaten staat in de definitie van de assimilatenbalans 'onder de streep'. Om de assimilatenbalans te verlagen, moet daarom de temperatuur worden verhoogd, en moet omgekeerd de temperatuur worden verlaagd om de assimilatenbalans te verhogen.

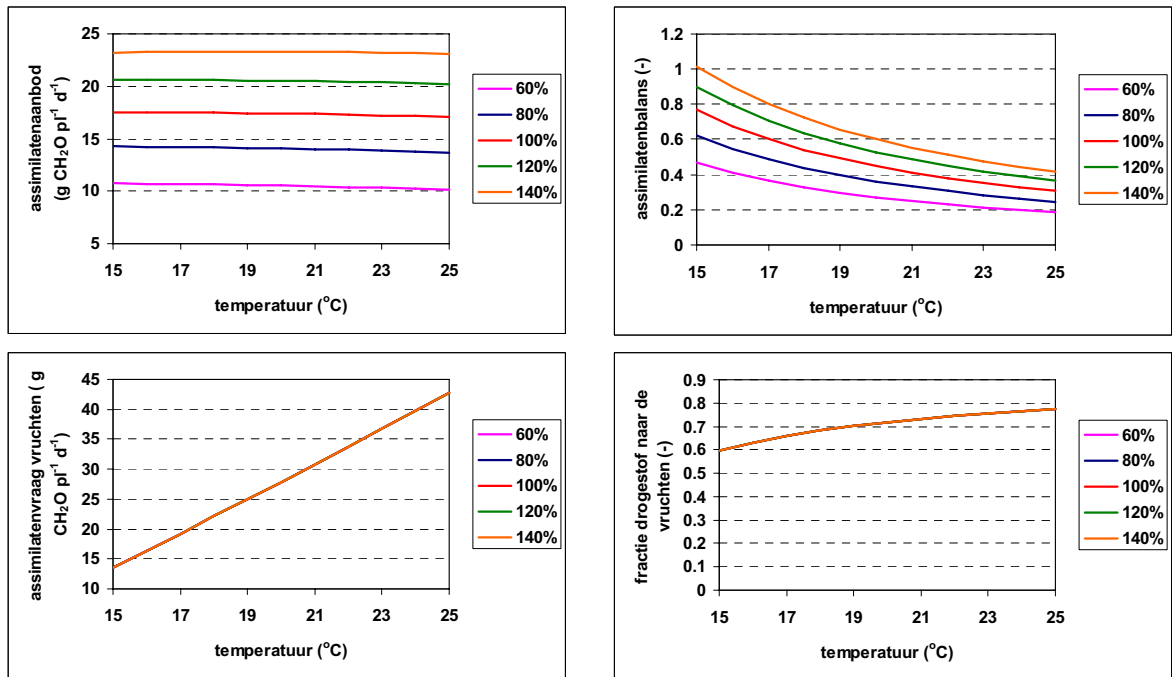
Een verlaging van de assimilatenbalans, door temperatuurverhoging, kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld minder te ventileren (in warmere tijden) of door meer te verwarmen (in koudere tijden), wat energie kost. Een verhoging van de assimilatenbalans, door temperatuurverlaging, kan worden gerealiseerd door bijvoorbeeld meer te ventileren (in warmere tijden), of door minder te verwarmen (in koudere tijden), wat energie bespaart. Er bestaat dus met name in de winter een relatie tussen het streven naar een stabielere assimilatenbalans, en het energieverbruik.

Samengevat:

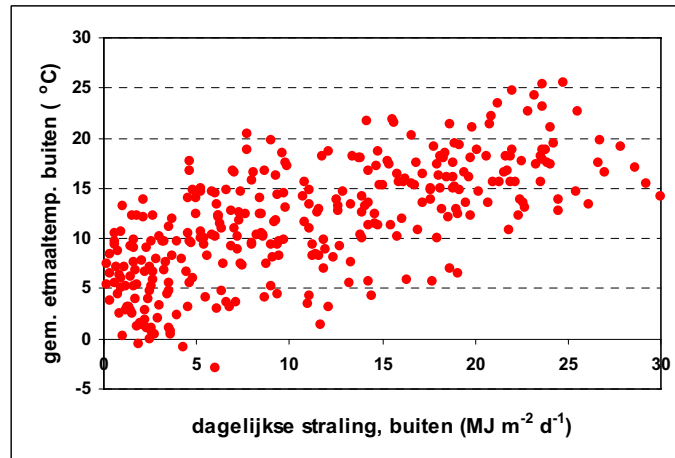
Doel	Middel	Consequentie	Effect op energieverbruik
Minder vraag naar assimilaten	Verlaag de temperatuur	's zomers: meer ventileren 's winters: minder stoken	Lager energieverbruik
Meer vraag naar assimilaten	Verhoog de temperatuur	's zomers: minder ventileren 's winters: meer stoken	Hoger energieverbruik

In Figuur 2.1 worden de diverse verbanden geïllustreerd. Het verband tussen temperatuur en het assimilatenaanbod is nagenoeg vlak (figuur linksboven). Wel is het aanbod hoger naarmate de straling hoger is (de verschillende lijnen). Een stijgende etmaaltemperatuur veroorzaakt een sterkere assimilatenvraag van de vruchten. Dit verband is lineair, en wordt op de korte termijn niet beïnvloedt door de straling (figuur linksonder). Gecombineerd leidt een temperatuurstijging tot een daling van de assimilatenbalans. De daling treedt op bij alle niveaus van straling (figuur rechtsboven).

Er bestaat een positief verband tussen straling en temperatuur, zoals in Figuur 2.2 voor een representatief klimaat wordt geïllustreerd. Om deze reden wordt er in de praktijk met de zon mee gestookt. Als er veel straling buiten is, is de temperatuur hoger, waardoor er minder gestookt hoeft te worden, en omgekeerd. Dit geldt ook voor Meerdaagse Temperatuurinstelling. Op zonnige dagen is er veel aanbod van assimilaten, en is een hoge temperatuur gewenst om ook een hoge vraag naar assimilaten te creëren en zo de assimilatenbalans zo stabiel mogelijk te houden. Aangezien dit eigenlijk al automatisch een gevolg is van de hoeveelheid zonnestraling, hoeft er minder ingegrepen te worden. Dit alleen al bespaart energie. Dit 'natuurlijke' mechanisme is niet voldoende om het onderste uit de kan te halen. Door de tijdshorizon te verlengen naar drie dagen wordt een grotere flexibiliteit in de keuze van de temperatuursetpoints verkregen. 'Tekorten' en 'overschotten' als het ware tegen elkaar worden uitgeruild.



Figuur 2.1. Relatie tussen temperatuur en assimilatenaanbod (linksboven), assimilatenvraag van de vruchten (linksonder), assimilatenbalans (rechtsboven) en fractie drogestof naar de vruchten (rechtsonder), bij verschillende niveaus van straling (aangegeven door verschillende percentages van de uitgangssituatie = 100%).¹

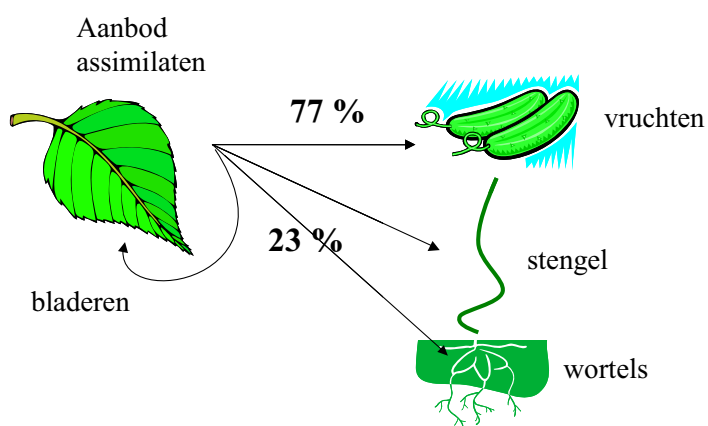


Figuur 2.2. Het verband tussen de buitenstraling en de gemiddelde etmaaltemperatuur buiten voor een representatief jaar.

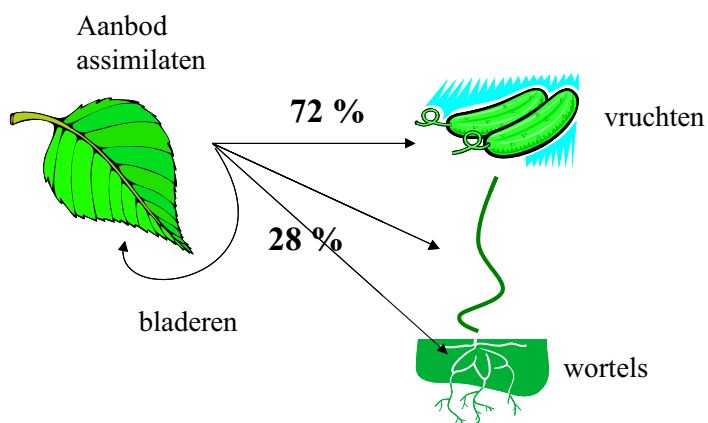
¹ De figuren in paragraaf 2.2 zijn gegenereerd voor de in hoofdstuk 4 beschreven winterteelt op een praktijkbedrijf, op 9 april. Toen golden voor de uitgangssituatie de volgende waarden: gemiddelde etmaaltemperatuur = 19.3°C, totale dagelijkse straling = 9.64 MJ d⁻¹, LAI = 2.97, plantbelasting = 11, assimilatenbalans = 0.5, fractie drogestofverdeling naar vruchten = 0.693.

2.2.2 Drogestofverdeling

Als de assimilatenvraag van de vruchten verandert, verandert ook de groei van de vruchten. Het is belangrijk er op te wijzen dat de actuele groei vrijwel altijd lager is dan de potentiële groei, omdat er niet voldoende assimilaten worden aangeboden om aan de grote vraag te voldoen. Het komt soms aan het begin van de teelt voor dat de assimilatenbalans groter is dan 1, als er geen of weinig vruchten aan de plant hangen, en als de straling hoog is. De drogestofverdeling is het deel van de assimilaten dat naar de vruchten gaat. Bij hogere temperaturen neemt de vraag naar assimilaten door de vruchten sterker toe dan de vraag door de vegetatieve delen. Hierdoor wordt de drogestofverdeling naar de vruchten hoger bij hogere temperatuur (Figuur 2.1, rechtsonder; Figuur 2.3). Op korte termijn heeft het stralingsniveau geen invloed op de drogestofverdeling, omdat de hoeveelheid beschikbare assimilaten naar rato van de zuigkrachten over vruchten en vegetatieve delen wordt verdeeld (Marcelis, 1993). En bij gelijke temperatuur is deze verhouding steeds gelijk. Alleen bij een langdurig hoger stralingsniveau vergroot de drogestofverdeling naar de vruchten omdat het aantal vruchten aan de plant toeneemt.



Figuur 2.3a. De verdeling van assimilaten over vruchten en vegetatieve delen bij een etmaaltemperatuur van 22° C: 77% van de assimilaten gaat naar de vruchten, en 23% naar de overige delen.



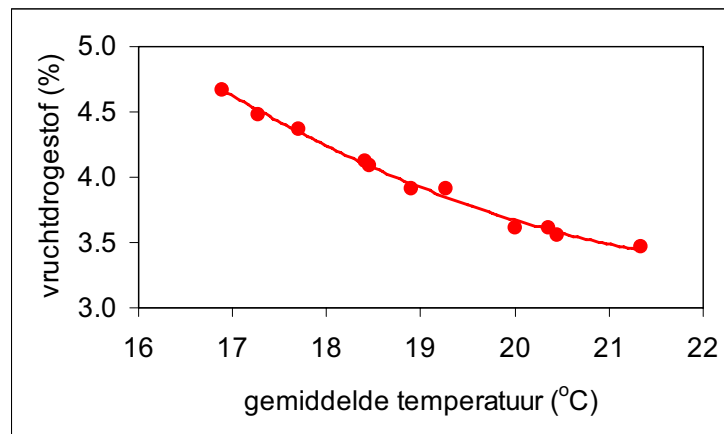
Figuur 2.3b. De verdeling van assimilaten over vruchten en vegetatieve delen bij een etmaaltemperatuur van 18° C: 72% van de assimilaten gaat naar de vruchten, en 28% naar de overige delen.

2.2.3 Drogestofpercentage van de vruchten.

Temperatuurstijging heeft tot gevolg dat het drogestofpercentage van de vruchten gaat dalen (Marcelis, 1994). In Figuur 2.4 wordt dit geïllustreerd. Naarmate de gemiddelde seizoenstemperatuur stijgt, daalt het gemiddelde drogestofpercentage van de geoogste vruchten. Bij gelijkblijvende drogestofgroei van de vruchten heeft tot gevolg dat het versgewicht van de vruchten groter wordt.

Als met behulp van de kasluchttemperatuur wordt geregeld om de assimilatenbalans vlak te houden, treden er op productieniveau zodoende een aantal tegenwerkende krachten op. Als een lagere temperatuur gewenst is, kan dit energie besparen. Het kan daarnaast tot een lagere groeisnelheid leiden, zodat in termen van drooggewicht er minder groei plaatsvindt. Bovendien stijgt bij lagere temperatuur het drogestofpercentage, zodat een lagere temperatuur ook langs die weg negatief uitwerkt op het versgewicht.

Het moge duidelijk zijn dat het belangrijk is om het juiste optimum te vinden. In dit verslag zal worden aangetoond dat dit inderdaad mogelijk is.



Figuur 2.4. Relatie tussen gemiddelde seizoenstemperatuur en het gemiddelde drogestofpercentage van de vruchten bij de oogst.

2.3 De na te streven balans

2.3.1 Waarom de assimilatenbalans stabiliseren?

De hypothese van het project 'Flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas' luidt dat het stabiliseren van de assimilatenbalans leidt tot verbetering en/of stabilisatie van de productie en productkwaliteit en tot energiebesparing. Een meer stabiele assimilatenbalans leidt er toe dat de vruchtzetting regelmatig wordt, de drogestofverdeling naar de vruchten stabiliseert, wat vervolgens leidt tot een stabiel vruchtgewicht, vruchtlengte, en uitgroeiduur van de vruchten. In hoofdstuk 3 zal worden aangetoond dat dit mechanisme inderdaad optreedt.

Stabilisering van de assimilatenbalans houdt in dat er iedere dag naar wordt gestreefd om de assimilatenbalans zo dicht mogelijk bij de lange-termijn trendlijn te brengen (zie hoofdstuk 2.3.2). Dit is alleen mogelijk door de kastemperatuur aan te passen. Aanwijzingen hiervoor zijn gevonden door Marcelis (1994) die met een gewasgroeimodel een verbeterde drogestofverdeling en productie voorspelde. Daarnaast werd al in 1977 door Van Uffelen en Hey gevonden dat het toepassen van een stralingsafhankelijke nachttemperatuur tot productiestijging leidde.

2.3.2 De streeflijn

De assimilatenbalans is op etmaalbasis voor een komkommengewas onder representatieve klimaatomstandigheden met het INTKAM gewasgroeimodel bepaald (Figuur 2.5). Er is een ruime dag-tot-dag variatie in de waarden van de assimilatenbalans zichtbaar, die sterk in verband staan met de variatie in dagelijkse globale straling en de resulterende variatie in het assimilatenaanbod. Dit is de korte-termijn variatie in de assimilatenbalans.

Een beschrijving van de punten met een 2^e-graads polynoom laat bijvoorbeeld in de winter een stijging in de tijd zien. Het is dus niet zo dat de assimilatenbalans over het gehele seizoen beschouwt geen langzaam veranderende waarde laat zien. Dit is de lange-termijn variatie in de assimilatenbalans. Uit Figuur 2.5 (rechtsonder) wordt duidelijk dat deze lange-termijn variatie is gekoppeld aan de straling, die in de zomermaanden het hoogste is.

Het is uitermate belangrijk dat de korte-termijn variatie en de lange-termijn trend niet met elkaar worden verward.

De lange-termijn trendlijn wordt dus per seizoen gedefinieerd en wordt beschouwd als de assimilatenbalans-lijn die iedere dag moet worden nagestreefd om de assimilatenbalans zo goed mogelijk te stabiliseren. Concreet betekent dit dat een waarde van de assimilatenbalans die boven de lijn ligt, naar beneden moet worden gebracht door de temperatuur te verhogen, en dat een waarde die onder de lijn ligt, naar boven moet worden gebracht door de temperatuur te verlagen. Het zal afhangen van de mogelijkheden die de kas en de klimaatregeling biedt, of de assimilatenbalans ook volledig tot de streefwaarde kan worden gebracht. Zo kan het moeilijk zijn om op warme zomerdagen een nachttemperatuur van 15°C te realiseren, of op koude winterdagen een dagtemperatuur van 25°C.

De lange-termijn trendlijn is de lijn die dagelijks moet worden nagestreefd om de assimilatenbalans zo goed mogelijk te stabiliseren.

De trendlijn is bepaald op basis van een representatief klimaat. Er is met modelberekeningen bepaald dat de trendlijn ongeveer hetzelfde verloop houdt als het kasklimaat sterk veranderd. Variatie in straling, CO₂-gehalte, temperatuur, en luchtvochtigheid leiden weliswaar tot andere dagelijkse waarden van de assimilatenbalans (dus een andere korte-termijn variatie), maar niet tot significant afwijkende trendlijnen (dus dezelfde lange-termijn variatie). Zeker de stabiliteit bij verschillende niveaus van temperatuur draag sterk bij aan de robuustheid van de uiteindelijke toepassing.

De trendlijn is eveneens zeer stabiel voor verschillende plantdichtheden.

De trendlijn vertoont wel enige gevoeligheid voor de plantdatum binnen een seizoen. Dit is in overeenstemming met het feit dat de trendlijnen voor ieder seizoen een ander verloop hebben. Een andere plantdatum leidt tot een andere trendlijn, en deze verandering is grotere naarmate de verschuiving van de plantdatum groter is. Het uitwerken van aangepaste trendlijnen, wat voor de praktijk mogelijk nodig is, is echter eenvoudig te realiseren.

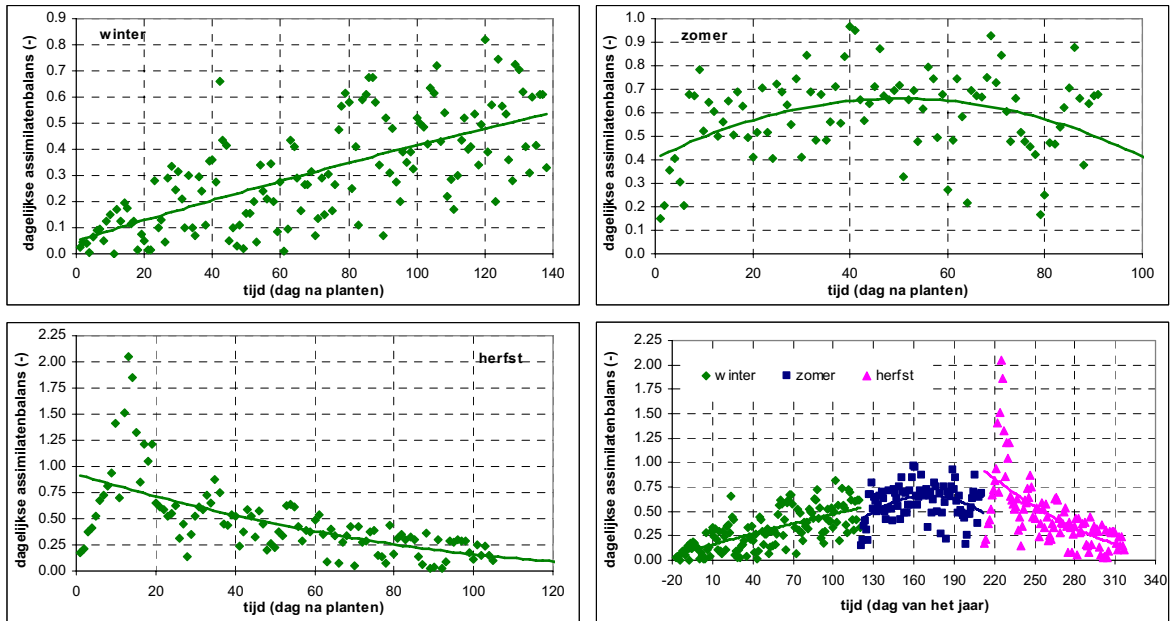
2.3.3 Meerdere streeflijnen

De in Figuur 2.5 getoonde seizoenslijnen zijn in statistische zin de beste fits van de dagelijkse waarden van de assimilatenbalans. Echter, er is geen enkele reden om aan te nemen dat deze statistische fits ook in fysiologische zin het beste resultaat opleveren als ze dagelijks worden nagestreefd. Daarom worden in dit project ook andere lijnen geëvalueerd. Deze lijnen liggen hier bijvoorbeeld 10% of 20% onder of boven, en worden aangeduid als de 80%, 90%, 110% of 120%-lijnen (Figuur 2.6)

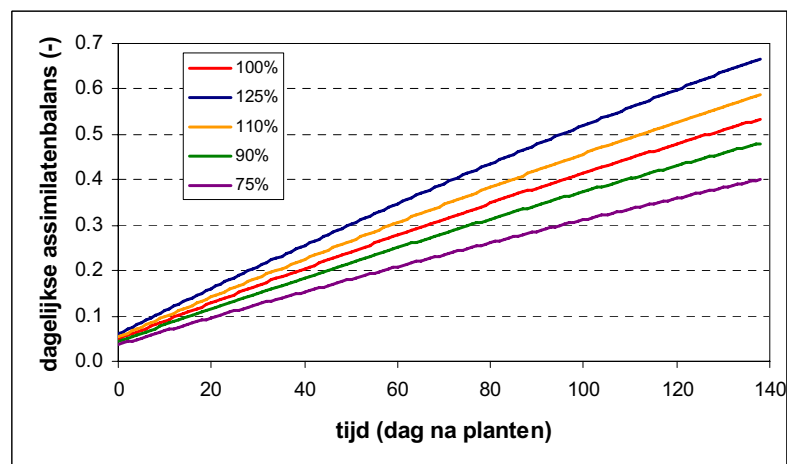
Een hogere streeflijn kan worden bereikt door structureel een lagere temperatuur te hanteren. Dan neemt de vraag naar assimilaten af en krijgt de assimilatenbalans een grotere waarde. Uit energetisch oogpunt lijkt dit het meest aantrekkelijk. Een lagere temperatuur heeft een beperkt effect op de fotosynthese, en doet de onderhoudsademhaling afnemen. Dit leidt tot een hogere gewas- en vruchtgroei. Maar omdat de lagere temperatuur ook tot een verhoging van het drogestofpercentage van de vruchten leidt, kan dit ten koste gaan van het versgewicht van de vruchten.

Het is dus zaak om de temperatuur niet te veel te laten dalen, omdat dan het effect op de versproductie niet opweegt tegen de energetische winst. Dit zal leiden tot de keus voor een iets lagere gelegen streeflijn.

In hoofdstuk 3 en 4 wordt uitgebreid ingegaan op de diverse fysiologische processen bij het nastreven van de verschillende streeflijnen.



Figuur 2.5. De assimilatenbalans (punten) gedurende de drie teelten bij representatieve klimaatomstandigheden bij een plantdichtheid van 1.45 planten m^2). De waarden van de gefitte 2-graads polynoom is in het project gebruikt als nagestreefde assimilatenbalans. In het vierde kwadrant zijn de drie teelten gecombineerd.



Figuur 2.6. Verschillende streeflijnen die in dit project worden geëvalueerd. Uitganglijn is de 100%-lijn, die de beste statistische fit geeft van de dagelijkse waarden van de assimilatenbalans. De andere lijnen liggen hier structureel een bepaalde fractie boven of onder.

2.4 Het kasklimaat

Het kasklimaat is een resultante van uitwendige weersomstandigheden, de eigenschappen van de kas en de klimatiseringsinstallatie die in de kas aanwezig is.

Van deze drie factoren die het kasklimaat bepalen biedt alleen de inzet van de klimatiseringsinstallatie de mogelijkheid om het kasklimaat te beïnvloeden. Uiteraard gelden er voor de inzet beperkingen. Zo stelt de verwarmingscapaciteit in de winter op veel dagen een duidelijke beperking aan de realiseerbare etmaaltemperatuur. Deze maximum capaciteit kan zowel veroorzaakt worden door fysieke beperkingen, zoals het verwarmend oppervlak of de ketelcapaciteit, maar ook door contractuele beperkingen, zoals een maximaal gecontracteerde gasafname.

In de zomer is de luchtingscapaciteit van de kas op veel dagen onvoldoende in geval er lage etmaaltemperaturen nagestreefd worden (bijvoorbeeld onder de 18 °C). Ook is het door de fysieke beperkingen van de CO₂-doseersysteem in de zomer vaak niet mogelijk om hoge CO₂-concentraties aan te houden.

In de teelt van een gewas moet de inzet van de tuinder dan ook gericht zijn op een zo doelmatig mogelijke inzet van de kas als klimatiseringssysteem, waarbij de beperkingen als randvoorwaarden zullen gelden. Het rekening houden met de beperkingen van de kas speelt des te meer wanneer de kasklimaatregelaar op een planmatige manier de plantbalans gaat besturen.

3. Verkennende berekeningen

3.1 Historisch onderzoek

Het onderzoek naar het combineren van temperatuur en straling begon in 1977, toen op het proefstation Naaldwijk ten tijde van de energiecrisis experimenten uitgevoerd aan het telen van komkommer bij verlaagde nachttemperatuur (Van Uffelen & Hey, 1977). De seizoensproductie bij vaste nachttemperaturen van 12, 16 en 20° C bedroegen respectievelijk 117,4, 126,0 en 121,6 kg per veldje (van 10 planten). Teelt bij een vaste nachttemperatuur van 20° C was destijds gebruikelijk. In een van de andere behandelingen werd afhankelijk van de straling tijdens de dagperiode de nachttemperatuur gevarieerd van 12 tot 23° C. Hierbij werd een lage straling gecombineerd met lage nachttemperatuur en werd een hoge straling gecombineerd met een hoge nachttemperatuur. Dit leidde op seizoensbasis tot een productie van 131,7 kg per veldje. Ten opzichte van de productie bij vaste nachttemperaturen van 12, 16 en 20° C komt dit overeen met relatieve productiestijgingen van 12,8, 4,5 en 8,3%. Van Uffelen en Heij concludeerden dat vanuit productieoverwegingen gekozen moet worden voor de stralingsafhankelijke nachttemperatuur, maar merkten op dat dit kan leiden tot hoog energieverbruik na dagen met veel instraling. Een sterk verlaagde nachttemperatuur gaat te veel ten koste van de productie, zodat er volgens hen een tussenoplossing gekozen moest worden.

Lang is weinig met deze gegevens gedaan, omdat de energiebeschikbaarheid in latere jaren niet als belangrijk probleem werd gezien. In 2003 is op PPO-Glastuinbouw in Naaldwijk het onderzoek 'Teeltoptimalisatie bij komkommer door assimilatenvraag beter af te stemmen op het assimilatenaanbod' uitgevoerd. Hierbij werd de kasttemperatuur aangepast op basis van instraling en plantbelasting, waarbij de behandelingen verschillende bandbreedtes kenden waarbinnen de temperatuur gevarieerd kon worden (Janse *et al.*, 2004). Dit onderzoek is modelmatig geanalyseerd door Elings en Marcelis (2004).

Hieraan kan worden toegevoegd het komkommeronderzoek door Marcelis (1994) die met een gewasgroei-model een verbeterde drogestofverdeling en productie voorspelde als de assimilatenbalans werd gestabiliseerd.

3.1.1 Samenvatting van onderzoek 'Temperatuurregeling in komkommer'

De modelmatige analyse van het onderzoek in 2003 op PPO leverde samengevat het volgende op (Elings en Marcelis, 2004):

- Assimilatenaanbod. Het assimilatenaanbod van het komkommernewas werd in hoge mate gestuurd door de hoeveelheid straling. De CO₂-concentratie, die niet bij iedere behandeling hetzelfde was, had hier een modifierend effect op.
- Assimilatenvraag. De assimilatenvraag van de vegetatieve delen was redelijk stabiel, terwijl de assimilatenvraag van de generatieve delen sterk fluctueerde, voornamelijk als gevolg van variatie in de plantbelasting.
- Assimilatenbalans. Uit de assimilatenbalans bleek dat in drie periodes tijdens de teelt (dag 45-60, 70-80 en 80-90) een grotere bandbreedte om de temperatuur te regelen er toe leidde dat de assimilatenbalans in het algemeen (er bleven specifieke momenten waar dit niet opging) minder fluctueerde. In twee andere periodes had een grotere bandbreedte tot gevolg dat de assimilatenbalans daalde, mits dit werd gecorrigeerd voor de CO₂-concentratie. Een grotere bandbreedte leidde in het algemeen tot een hogere etmaaltemperatuur omdat bij hogere temperatuur de nagestreefde assimilatenbalans beter werd benaderd.
- Drogestofverdeling. Naarmate de bandbreedte waarbinnen de gemiddelde dagtemperatuur kon worden gevarieerd, toeneemt, werd de drogestofverdeling stabiel, al bleven er duidelijke dag-tot-dag fluctuaties bestaan.
- Productie. Productieverschillen tussen behandelingen werden bepaald door verschillen in CO₂-concentratie en temperatuur. De CO₂-concentratie was de belangrijkste verklarende factor voor de verschillen in droog vruchtgewicht. De temperatuur had een belangrijk effect, via het vruchtdrogestofgehalte, op het geoogste versgewicht. Zo kende de afdeling met de grootste bandbreedte waarbinnen de etmaaltemperatuur gevarieerd

kon worden, de hoogste gemiddelde etmaaltemperatuur. Dit vertaalde zich in een hogere gesimuleerde vers-productie.

- Plantbelasting. Er was in het algemeen een demping van fluctuaties in de plantbelasting bij het toenemen van de bandbreedte van de temperatuurregeling. De controlebehandeling vertoonde de grootste pieken, terwijl de behandeling met de grootste bandbreedte (16-24° C) halverwege het seizoen het meeste gedempte patroon liet zien, al werd het seizoen afgesloten met een hoge piek. De tussenliggende bandbreedtes vertoonden aan het einde van het seizoen een relatief stabiel patroon met betrekking tot de plantbelasting.

3.2 Gewasfysiologische verkenningen

3.2.1 Inleiding

In de eerste fase van het huidige project zijn berekeningen uitgevoerd met het INTKAM model dat niet aan het KASPRO model was gekoppeld. De belangrijkste implicatie hiervan is geweest dat de beperkingen die door de kas en de klimaatregeling aan het klimaat worden opgelegd, niet zijn meegenomen.

Dit deel wordt vrij uitgebreid behandeld, omdat de geïllustreerde fysiologische principes later steeds terugkeren.

3.2.2 Materiaal en methoden

Teelt

Als uitgangsteelt werd die van een moderne tuinder genomen. Hierop gebaseerde teeltverbeteringen moeten acceptabel zijn voor de praktijk.

Alle drie gangbare teelten zijn beschouwd, te weten de winterteelt (plantdatum 14 december), de zomerteelt (1 mei) en de najaarsteelt (1 augustus). De teeltwisselingsperioden in de zomer en in augustus zijn heel kort, maar de herfstteelt wordt al begin november geruimd. De gangbare plantdichtheid in alle drie teelten is 1.45 planten m². Er is aangenomen dat de eerste vrucht op de hoofdstengel zich in de winter-, zomer- en herfstteelt ontwikkelde bij respectievelijk het 8^e, 5^e en 6^e blad. Er werd aangenomen dat het aantal aangehouden stamvruchten (het aantal vruchten op de hoofdstengel) in de drie seizoenen respectievelijk 4, 18 en 12 bedroeg.

Er is uitgegaan van een kas van 3 ha met een goothoogte van 4.5 meter. De kapbreedte is gesteld op de gangbare 4 meter. Het verwarmingssysteem is een standaard systeem voor de intensieve glasgroenteteelt en bestaat uit vijf 51 mm buizen per kap in het ondernet en half zo veel 28 m buizen in het bovennet. Het bovennet fungeert als condensornet, maar ook als secundair net wanneer een groot verwarmingsvermogen noodzakelijk is. De kas is uitgerust met een rookgas-verdeelsysteem voor de CO₂-dosering waarmee maximaal 180 kg CO₂ ha⁻¹uur⁻¹ kan worden toegediend. De ketel heeft een aansluitcapaciteit van 160 m³ ha⁻¹uur⁻¹ en er is een warmteopslag buffer met een waterinhoud van 120 m³ ha⁻¹.

Voor de straling werd gebruik gemaakt van het SelJaar, dat representatieve klimaatgegevens voor Nederland bevat en dat de variatie in klimaateigenschappen tussen dagen en tussen uren heeft gehandhaafd.

Komkommers worden relatief warm geteeld. De winterteelt begint met een dagtemperatuur van 21 °C en een nachttemperatuur van 20 °C. Deze worden pas op 1 februari verlaagd naar respectievelijk 20 en 18.5 °C, welke tot het eind van de teelt zo blijven. De zomerteelt begint weer met 22 °C overdag en 21 °C 's nachts. Na drie weken worden deze verlaagd naar 21 en 19.5 °C en weer een week later nog eens verder verlaagd. Tot het eind van de teelt wordt dan 20 °C als dagtemperatuur setpoint aangehouden en 17 °C als nachttemperatuur setpoint. De herfstteelt heeft de eerste 4 weken dezelfde instellingen als de zomerteelt. Daarna wordt het dagtemperatuursetpoint

ingesteld op 20.5 °C en het nachttemperatuursetpoint op 17.5 °C. Overdag wordt de stooklijn 2 °C verhoogd in het traject van 100 tot 300 W m² globale straling.

In de koude periode van het jaar (vanaf eind september) staat de ventilatielijn ver boven de stooklijn (5 °C hoger). Er wordt derhalve weinig warmte afgelucht, zodat op heldere dagen hoge etmaaltemperaturen kunnen worden behaald. Vanaf half april is het zaak de etmaaltemperatuur te drukken, zodat de ventilatielijn op 15 april slechts 1 °C boven de stooklijn wordt gelegd.

Er wordt gedurende de nacht gebruik gemaakt van een minimum buis op het ondernet van 40° C (vanaf 01:00) . Overdag is de minimumbuis temperatuur 45 °C. In het buitenstralingstraject van 100 tot 200 W m² wordt deze echter alweer afgebouwd zodat in de praktijk de minimumbuis overdag veelal uit zal staan.

In een gemiddeld Nederlands jaar bedraagt het gasverbruik voor de winterteelt onder bovenbeschreven regime 28 m³ m² , het gasverbruik voor de zomerteelt 5.5 m³ m² en voor de najaarsteelt 11.4 m³ m².

Berekeningen

De gewasfysiologische verkenningen zijn uitgevoerd door de gewasgroei- en ontwikkeling te berekenen indien voor elke dag een etmaaltemperatuur tussen de 15 en 25 °C zou kunnen worden gekozen. Hierbij is gebruik gemaakt van een set met door KASPRO berekende klimaatgegevens, waarvan de temperatuurgegevens werden aangepast. Dit alles werd overigens pas vanaf de 21^e dag van de teelt uitgevoerd omdat er in de eerste 20 dagen van het seizoen er geen of zeer weinig vruchten aan de plant hangen en het in deze fase vooral om de opbouw van de LAI gaat. Vanaf de 21^e dag is er op dagbasis steeds gezocht naar die etmaaltemperatuur die er voor zorgde dat de assimilatenbalans op (of zo dicht mogelijk) bij de nagestreefde waarde kwam. Hiertoe werd met kleine stapjes de kastemperatuur gevarieerd tussen 15 en 25° C.

Er werden een aantal verschillende assimilatenbalansen nagestreefd (zie hoofdstuk 2.2.3). De uitgangslijn die de trend van de assimilatenbalans van een normale teelt het beste beschrijft, en een aantal lijnen die hier onder of boven liggen (75%, 90%, 110%, 125%). Het nastreven van een lager liggende trendlijn zal een hogere temperatuur vereisen, terwijl het nastreven van een hoger liggende trendlijn een lagere temperatuur zal vereisen. Het ligt dus in de lijn der verwachting dat een hoger liggende trendlijn in meer energiebesparing zal resulteren.

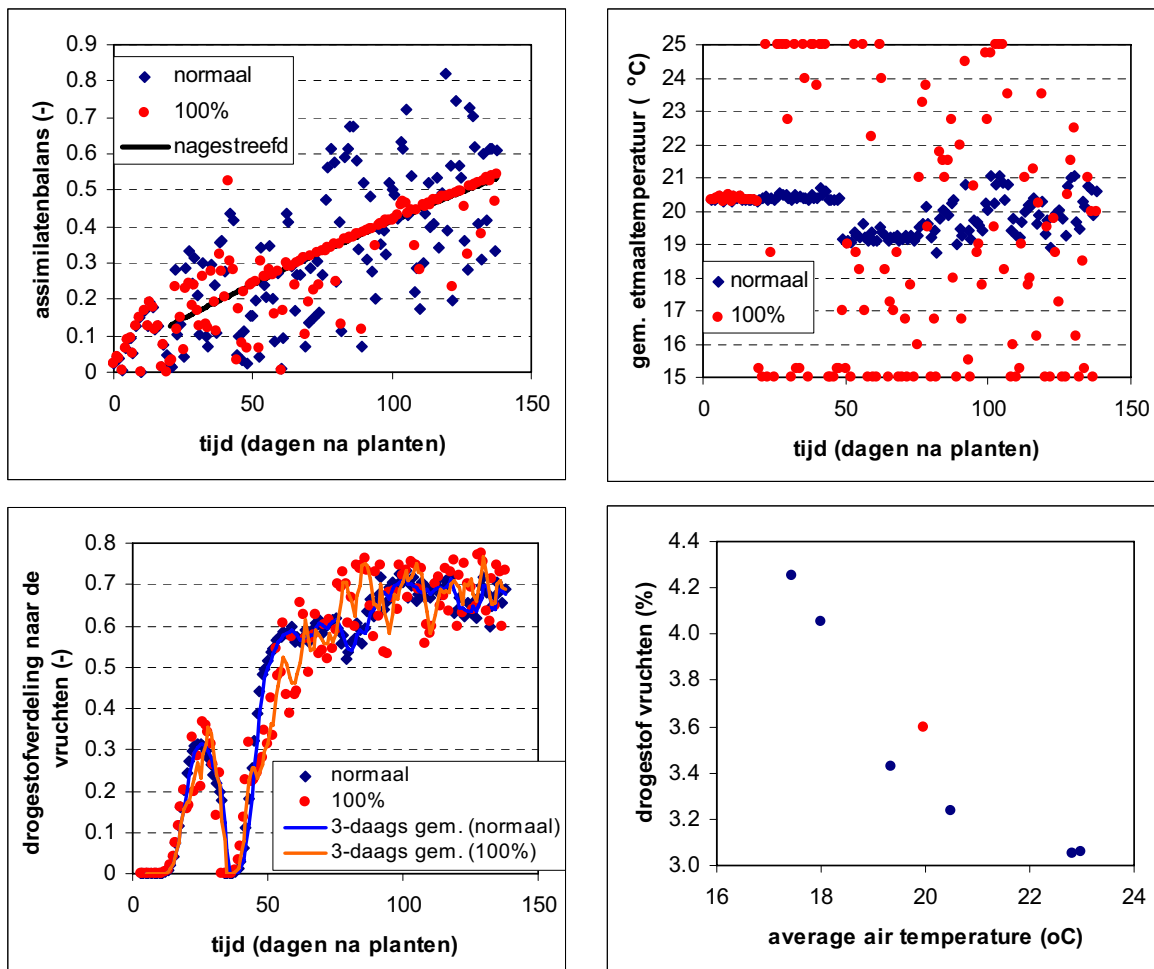
3.2.3 Winterteelt

Assimilatenbalans. Onder de voorwaarde dat alle etmaaltemperaturen tussen 15 en 25 °C kunnen worden gerealiseerd, kan de nagestreefde assimilatenbalans op de meeste dagen worden bereikt (Figuur 3.1). Terwijl bij een normale teelt er een grote dagelijkse variatie bestaat tussen de waarden van de assimilatenbalans, leidt optimalisatie van de teelttemperatuur er toe dat de waarde van de assimilatenbalans gedurende het grootste gedeelte van de teelt naar de streefwaarde wordt toegebracht. Er vindt zodoende een flinke reductie van de variatie plaats. Alleen aan het begin van de teelt blijkt het niet mogelijk te zijn om de assimilatenbalans goed te stabiliseren. Dit houdt verband met het feit dat er dan nog geen of weinig vruchten aan de plant hangen, zodat het effect van temperatuurverandering alleen via de vraag naar assimilaten van de vegetatieve organen werkt.

Temperatuur. Om de assimilatenbalans op de streefwaarde te brengen wordt volop gebruik gemaakt van de mogelijkheid om de etmaaltemperatuur tussen 15 en 25° C te variëren (Figuur 3.1). Een etmaaltemperatuur van 15 of 25° C geeft aan dat de assimilatenbalans niet verder aangepast kan worden, tenzij de bandbreedte nog verder wordt verbreed.

Het is de vraag of dit in de praktijk kan worden bereikt. Zo zal het in de winter moeilijk zijn om een etmaaltemperatuur van 25° C te bereiken, omdat dit betekent dat ook 's nachts een zeer hoge temperatuur moet worden gehandhaafd. En als dit al kan, kost het veel energie. 's Zomers zal het zonder koeling op veel dagen niet mogelijk zijn om een etmaaltemperatuur van 15° C te bereiken.

Terwijl een normale teelt een gemiddelde etmaaltemperatuur van 20.0°C kent, resulteert het nastreven van de 100%-lijn in een gemiddelde etmaaltemperatuur van 19.3°C (Tabel 3.1). De gemiddelde etmaaltemperatuur daalt verder naarmate een hoger liggende trendlijn wordt nagestreefd. Lager liggende trendlijnen resulteren in een gemiddelde etmaaltemperatuur die hoger ligt dan 20.0°C, wat wijst op een hoger energieverbruik.



Figuur 3.1. Gesimuleerde gewaskarakteristieken bij een normale winter teelt (blauwe punten) en bij het nastreven van de 100%-trendlijn (rode punten). Linksboven: assimilatenbalans; rechtsboven: etmaaltemperatuur; linksonder: drogestofverdeling naar de vruchten (inclusief 3-daagse lopende gemiddelden); rechtsonder: drogestofpercentages van de vruchten.

Bruto fotosynthese. De bruto fotosynthese vertoont erg weinig variatie (Tabel 3.1), omdat het effect van de temperatuur hierop gering is (zie ook Figuur 2.1).

Drogestofgroei gewas. De cumulatieve drogestofgroei vertoont daarentegen wel variatie (Tabel 3.1). De oorzaak hiervan ligt in de onderhoudsademhaling, die temperatuurafhankelijk is. Bij het nastreven van de 75%-lijn is de gemiddelde temperatuur hoger, en daarmee ook de onderhoudsademhaling. Bij een ongeveer gelijke cumulatieve bruto fotosynthese geeft dit een lagere resterende drogestofgroei van het gewas. In geen van de nagerekende trendlijnen was de cumulatieve drogestoftoename van het gewas significant hoger dan bij een normale teelt.

Drogestofgroei vruchten en drogestofverdeling. De drogestofgroei van de vruchten wordt daarentegen in een groot aantal gevallen wel verbeterd, wat blijkt uit de hogere waarden voor de drogestofverdeling naar de vruchten. Deze

bedraagt op seizoensbasis bij een normale teelt 0.612, en neemt toe tot 0.642 bij het nastreven van de 100%-lijn. Bij het nastreven van de 110% lijn bedraagt de drogestofverdeling zelfs 0.655. Dit is een belangrijke winst.

Het is moeilijk te zeggen of de hogere drogestofverdeling ook stabiel is. Wanneer lijnen van de 3-daagse gemiddelden worden weergegeven (Figuur 3.1), blijkt dat de momenten van pieken en dalen wel veranderen, maar dat er in amplitude weinig verandering optreedt.

Tabel 3.1. *Gesimuleerde etmaaltemperatuur en een aantal gewaskarakteristieken voor een representatieve winterteelt, als verschillende lange-termijn trendlijnen van de assimilatenbalans worden nagestreefd. In **rood** staan de waarden gegeven die een verbetering zijn ten opzichte van een normale teelt.*

Streeflijn	Gemiddelde etmaaltemperatuur	Cumulatieve bruto fotosynthese	Cumulatieve drogestofgroei gewas	Cumulatieve drogestofgroei vruchten	Totale drogestofverdeling naar de vruchten	Gemiddeld drogestof vruchten	Totale versoogst	Gemiddeld vruchtversgewicht	Gemiddelde vruchtlengte	Aantal geoogste vruchten	Vruchtleeftijd
	°C	g CH ₂ O m ²	g m ²	g m ²	-	%	g m ²	g	cm	aantal plant ¹	(d°C)
normaal	20.0	2892	1372	820	0.612	3.60	20678	402	34.2	35	180.2
75%	22.8	2872	1284	757	0.590	3.05	22377	440	35.3	35	179.4
90%	20.5	2888	1323	832	0.628	3.24	23243	428	35.0	37	177.0
100%	19.3	2897	1346	864	0.642	3.43	22936	439	35.2	36	180.2
110%	18.0	2898	1364	894	0.655	4.05	19503	383	33.6	35	183.2
125%	17.5	2894	1369	873	0.638	4.26	16895	387	33.6	30	181.2

Drogestof vruchten. Een temperatuurdaling heeft een hoger drogestofpercentage van de vruchten tot gevolg (Figuur 3.1, en ook Figuur 2.2), wat leidt tot een lager vruchtversgewicht. Dit heeft tot gevolg dat het nastreven van de 110% en 125% lijnen, die de hoogste drogestofgroei van de vruchten kenden, leidt tot een totale versoogst die beneden die van een normale teelt ligt (Tabel 3.1). Het gemiddelde drogestofpercentage van een normale teelt is 3.6%, terwijl dat bij het nastreven van de 110% en 125%-lijnen tot respectievelijk 4.05 en 4.26% is gestegen.

Daarnaast blijkt het zo te zijn dat het drogestofpercentage van de vruchten bij eenzelfde gemiddelde etmaaltemperatuur bij de geoptimaliseerde teelten lager is dan bij een normale teelt. Dit leidt tot een hogere versproductie.

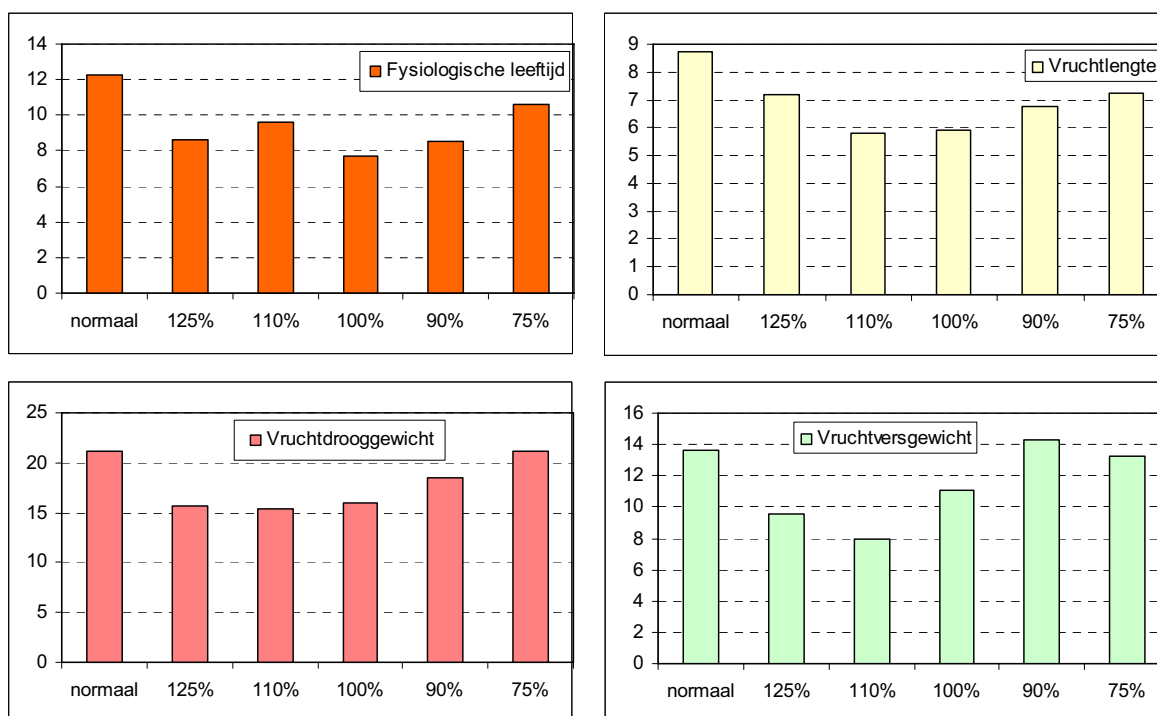
Versoogst. De totale drogestofgroei van de vruchten, in combinatie met het drogestofpercentage, levert de totale versoogst. Het blijkt dat de laagste temperaturen moeten worden vermeden, vanwege het hoge drogestofpercentage dat de versoogst drukt.

Vruchtgewicht. Het gemiddelde versgewicht per geeft waarden die 30 tot 40 gram hoger zijn in geval van het nastreven van de 75%, 90% en 100% lijnen dan bij een normale teelt. Als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd, worden in de meeste gevallen zowel vruchtdrooggewicht als vruchtversgewicht stabiel (Figuur 3.2).

Vruchtlengte. De vruchtlengte is gekoppeld aan het versgewicht van de vrucht, en vertoont hetzelfde beeld. De variatiecoëfficiënt van het gemiddelde neemt af (Figuur 3.2), wat betekent dat meer komkommervruchten ongeveer dezelfde lengte hebben en in dezelfde klasse kunnen worden ingedeeld.

Vruchtleeftijd of vruchtgroeiduur. Vruchtleeftijd is in fysiologische zin de geaccumuleerde hoeveelheid graaddagen. Op een warme dag worden meer graaddagen geaccumuleerd dan op een koudere dag. De gemiddelde vruchtgroeiduur is 180 d°C in het geval van een gewone teelt. De gemiddelde vruchtgroeiduur verandert slechts beperkt als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd. De waarde varieert tussen 177 en 183 d°C. Een groter aantal geoogste vruchten, als een andere assimilatenbalans wordt nagestreefd, gaat gepaard met een jongere vruchtleeftijd. De vruchtleeftijd is stabiel als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd (Figuur 3.2). Vruchtleeftijd, en daarmee houdbaarheid, is een belangrijk kwaliteitsaspect, en het feit dat deze gedurende de winterteelt stabiel wordt, is een positief gegeven.

Aantal vruchten. Vruchtzetting is een gecompliceerd proces, waarin de beschikbaarheid van assimilaten, de temperatuur en het aantal reeds aan de plant aanwezige vruchten een belangrijke rol spelen. Het principe is dat een pas geïnitieerd vruchtbeginsel goed kan zetten als er voldoende assimilaten aanwezig zijn. Een hoge straling, een goede temperatuur, en weinig andere concurrerende vruchten aan de plant bevorderen dit. Terwijl er bij een normale winterteelt 35 vruchten per plant worden geoogst, leidt het nastreven van de 100% lijn tot 2 extra vruchten. Ook het nastreven van andere lijnen werkt in veel gevallen positief.



Figuur 3.2. De variatiecoëfficiënt van de gesimuleerde fysiologische vruchtleeftijd, vruchtlengte, en vruchtdroog- en versgewicht voor een komkommerwinterteelt bij een normale teelt en bij het nastreven van een aantal trendlijnen.

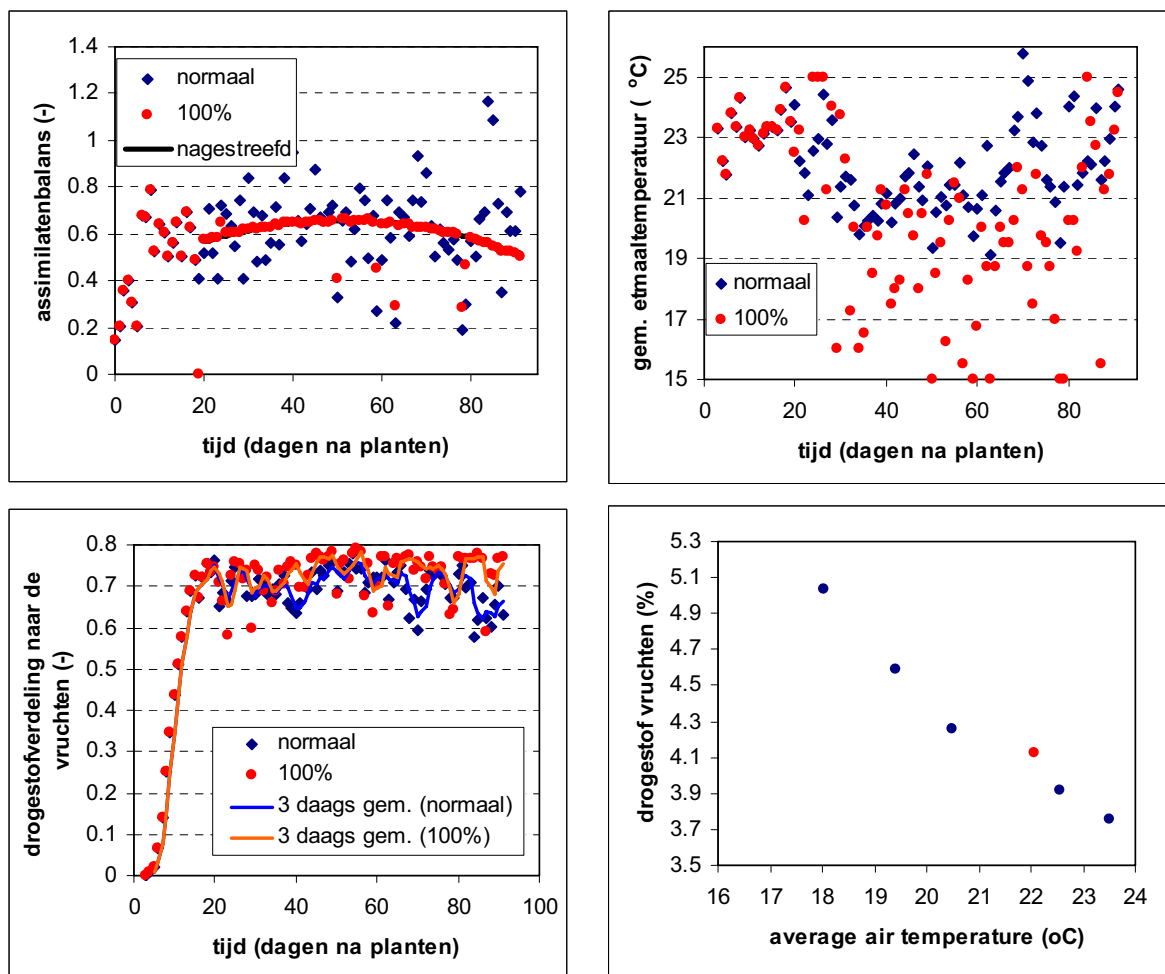
3.2.4 Zomerteelt

Ook in de zomer kan de nagestreefde assimilatenbalans op de meeste dagen worden bereikt (Figuur 3.3), en vindt er een flinke reductie van de variatie in de waarde van de assimilatenbalans plaats. Terwijl er in de winterteelt volop gebruik werd gemaakt van de mogelijkheid om de etmaaltemperatuur te variëren (Figuur 3.1), is dit bij de zomerteelt veel minder het geval (Figuur 3.3). Een aantal malen wordt een extreme etmaaltemperatuur van 15 of 25°C bereikt, maar dit zijn uitzonderingsgevallen. Terwijl een normale teelt een gemiddelde etmaaltemperatuur van 22.1°C kent, resulteert het nastreven van de 100%-lijn in een gemiddelde etmaaltemperatuur van 20.5°C (Tabel 3.2). Net als bij een winterteelt daalt de gemiddelde etmaaltemperatuur verder naarmate een hoger liggende trendlijn wordt nage-

streefd. Lager liggende trendlijnen resulteren in een gemiddelde etmaaltemperatuur die hoger ligt dan 22.1°C, wat wijst op een hoger energieverbruik.

De bruto fotosynthese vertoont iets meer variatie dan in het geval van een winterteelt, en bovendien is er in alle gevallen een stijging ten opzichte van de fotosynthese van een gewone teelt zichtbaar (Tabel 3.2). Nadat een deel van de assimilaten is gebruikt voor de onderhoudsademhaling, wordt het andere deel gebruikt voor de drogestof-groei van het gewas. Bij de zomerteelt is er duidelijker verband met de temperatuur dan bij de winterteelt: naarmate de temperatuur daalt, gaan er minder assimilaten naar de onderhoudsademhaling en neemt de cumulatieve drogestof-toename toe. Alleen het nastreven van de 75%-lijn resulteert in een lagere groei dan bij een normale teelt.

Ook bij de zomerteelt wordt de drogestofverdeling naar de vruchten verbeterd (Tabel 3.2). De waarde van 0.681 wordt in alle gevallen overschreden. Daarnaast is de seizoensvariatie in het geval van het nastreven van de 100%-lijn iets minder dan in het geval van een normale teelt.



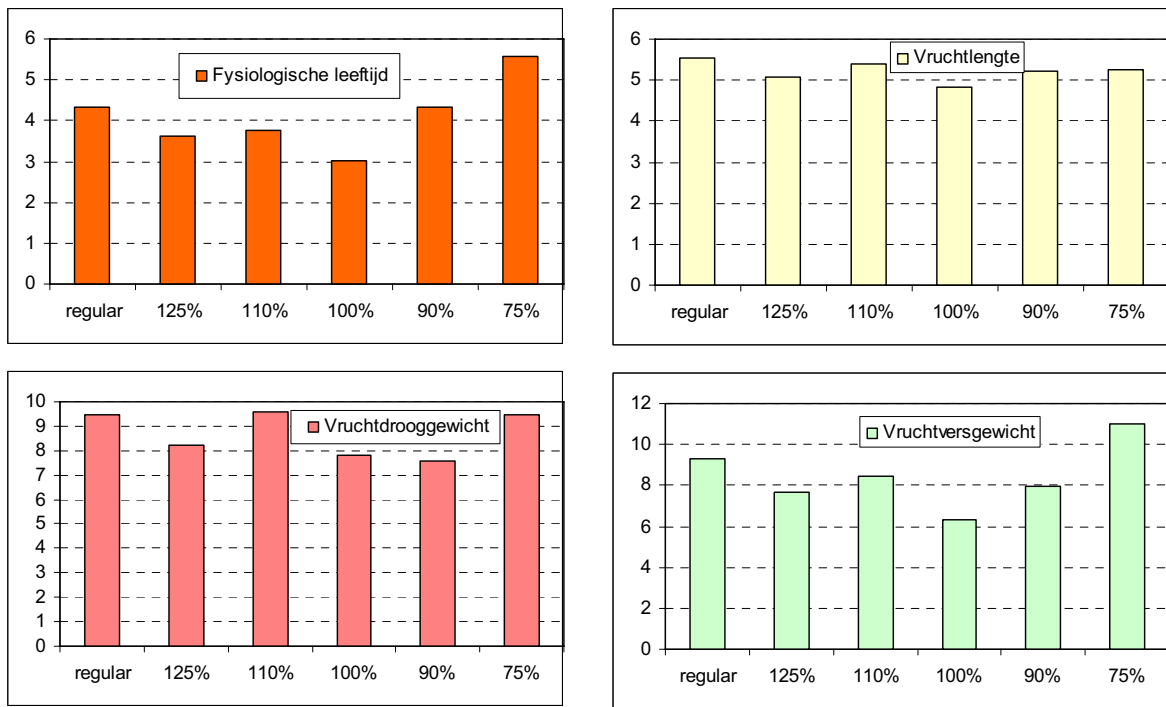
Figuur 3.3. Gesimuleerde gewaskarakteristieken bij een normale zomerteelt (blauwe punten) en bij het nastreven van de 100%-trendlijn (rode punten). Linksboven: assimilatenbalans; rechtsboven: etmaaltemperatuur; linksonder: drogestofverdeling naar de vruchten (inclusief 3-daagse lopende gemiddelden); rechtsonder: drogestofpercentages van de vruchten.

Omdat de gemiddelde temperatuur lager is, leidt het nastreven van de 100%, 110% en 125% lijnen tot een hoger drogestofpercentage van de vruchten dan in het geval van een normale teelt (4.12%), wat de versoogst doet afnemen. Alleen in geval van nastreven van de 75%, 90% en 100% lijnen ligt de versoogst boven het normale niveau ligt. Net als bij de winterteelt is ook bij de zomerteelt bij eenzelfde gemiddelde etmaaltemperatuur het drogestofpercentage van de vruchten lager als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd dan bij een normale teelt, zij het in beperkte mate.

Als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd, stabiliseert in de meeste gevallen het vruchtversgewicht (Figuur 3.4), en in mindere mate het vruchtdrooggewicht. De gemiddelde vruchtlengte verschilt weinig tussen de verschillende streeflijnen (Tabel 3.2). Alleen het nastreven van de 75%-lijn resulteert gemiddeld in een langere vrucht. De vruchtlengte is het meest stabiel als de 100%-lijn wordt nagestreefd. Ook in enkele andere gevallen neemt de variatiecoëfficiënt af. In een normale zomer worden er 55 vruchten plant⁻¹ geoogst, leidt het nastreven van de 100% lijn tot 1 extra vrucht per plant, en het nastreven van de 75%-lijn zelfs in 5 extra vruchten per plant. Het nastreven van lijnen die in een hogere gemiddelde temperatuur resulteren, resulteren ook in meer vruchten. De vruchtleeftijd is 153 d°C bij een normale teelt, en varieert net als in de winter weinig tussen de verschillende streeflijnen. De variatie van de fysiologische vruchtleeftijd, is sterk afhankelijk van de nagestreefde lijn. Alleen bij het nastreven van de 100%, 110% of 125%-lijnen neemt de variatiecoëfficiënt af.

Tabel 3.2. *Gesimuleerde etmaaltemperatuur en een aantal gewaskarakteristieken voor een representatieve zomerteelt, als verschillende lange-termijn trendlijnen van de assimilatenbalans worden nagestreefd. In **rood** staan de waarden gegeven die een verbetering zijn ten opzichte van een normale teelt.*

Streeflijn	Gemiddelde etmaaltemperatuur	Cumulatieve bruto fotosynthese	Cumulatieve drogestofgroei gewas	Cumulatieve drogestofgroei vruchten	Totale drogestofverdeling naar de vruchten	Gemiddeld drogestof vruchten	Totale versoogst	Gemiddeld vruchtversgewicht	Gemiddelde vruchtlengte	Aantal geoogste vruchten	Vruchtleeftijd
	°C	g CH ₂ O m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	-	%	g m ⁻²	g	cm	aantal plant ⁻¹	(d°C)
normaal	22.1	4749	2257	1536	0.681	4.12	36474	457	36.3	55	153.4
75%	23.5	4781	2254	1586	0.704	3.76	41349	470	36.6	60	157.2
90%	22.6	4799	2281	1603	0.703	3.92	38935	460	36.3	58	154.9
100%	20.5	4826	2328	1671	0.718	4.25	37453	461	36.1	56	158.2
110%	19.4	4824	2342	1664	0.710	4.59	33472	451	35.9	51	156.0
125%	18.0	4800	2347	1648	0.702	5.04	29109	435	35.4	45	152.9

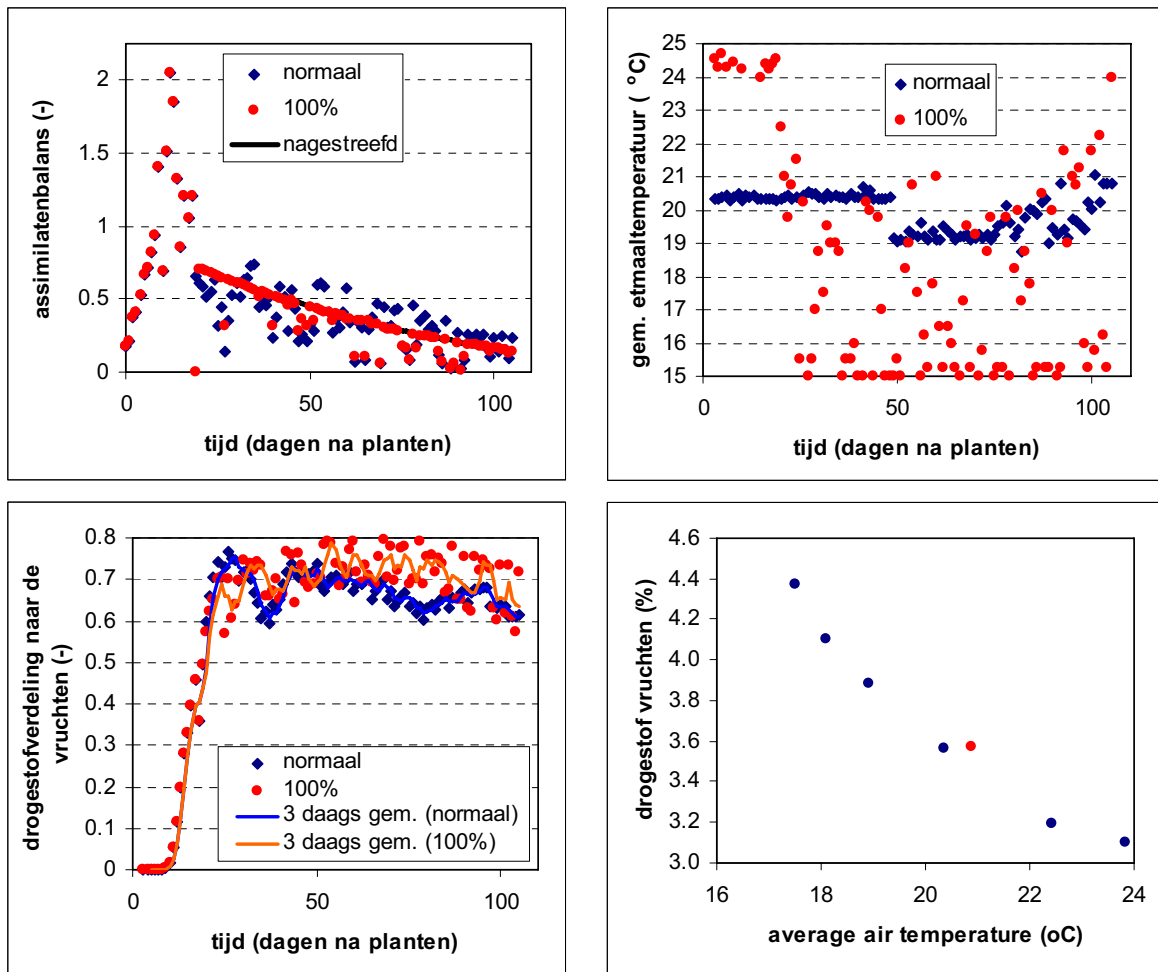


Figuur 3.4. De variatiecoëfficiënt van de gesimuleerde fysiologische vruchtleeftijd, vruchtlengthe, en vruchtdroog- en versgewicht voor een komkommerzomerteelt bij een normale teelt en bij het nastreven van een aantal trendlijnen.

3.2.5 Najaarsteelt

Ook in het najaar kan de streefwaarde van de assimilatenbalans op de meeste dagen worden bereikt (Figuur 3.5), en vindt er een flinke reductie van de variatie plaats. Er worden bij het nastreven van de 100% lijn veel lage temperaturen in het traject 15-16° C gekozen om de assimilatenbalans te stabiliseren. Blijkbaar is op deze momenten de vraag naar assimilaten te hoog en is de assimilatenbalans te laag. Terwijl een normale teelt een gemiddelde etmaaltemperatuur van 20.9° C kent, resulteert het nastreven van de 100%-lijn in een gemiddelde etmaaltemperatuur van 18.9° C (Tabel 3.3). Ook bij herfststeelt daalt de gemiddelde etmaaltemperatuur verder naarmate een hoger liggende trendlijn wordt nagestreefd. Van de doorgerekende lijnen resulteert alleen de 75%-lijn in een gemiddelde etmaaltemperatuur die hoger ligt dan 20.9° C, wat wijst op een hoger energieverbruik.

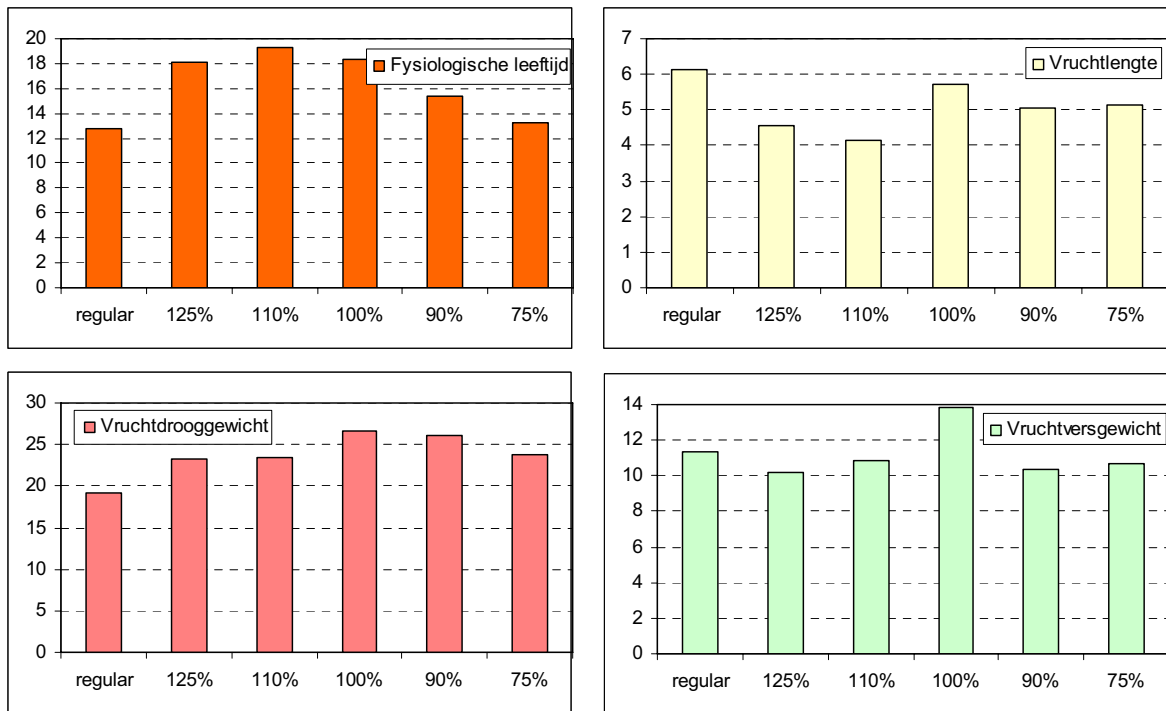
De bruto fotosynthese vertoont net als in het geval van een winterteelt een zeer kleine variatie tussen de diverse streeflijnen en hun seizoenstemperaturen. Wel liggen alle waarden hoger dan de waarde van een normale teelt. Na verdiscontering van het temperatuur-afhankelijke effect van de onderhoudsademhaling, resulteert net als bij de zomerteelt het nastreven van de 75%-lijn resulteert in een lagere drogestofgroei van het gewas dan bij een normale teelt.



Figuur 3.5. Gesimuleerde gewaskarakteristieken bij een normale najaarsteelt (blauwe punten) en bij het nastreven van de 100%-trendlijn (rode punten). Linksboven: assimilatenbalans; rechtsboven: etmaaltemperatuur; linksonder: drogestofverdeling naar de vruchten (inclusief 3-daagse lopende gemiddelden); rechtsonder: drogestofpercentages van de vruchten.

Tabel 3.3. Gesimuleerde etmaaltemperatuur en een aantal gewaskarakteristieken voor een representatieve najaarsteelt, als verschillende lange-termijn trendlijnen van de assimilatenbalans worden nagestreefd. In **rood** staan de waarden gegeven die een verbetering zijn ten opzichte van een normale teelt.

Streeflijn	Gemiddelde etmaaltemperatuur	Cumulatieve bruto fotosynthese	Cumulatieve drogestofgroei gewas	Cumulatieve drogestofgroei vruchten	Totale drogestofverdeling naar de vruchten	Gemiddeld drogestof vruchten	Totale versooft	Gemiddeld vruchtversgewicht	Gemiddelde vruchtlengte	Aantal geoogste vruchten	Vruchtleeftijd
	°C	g CH ₂ O m ⁻²	g m ⁻²	g m ⁻²	-	%	g m ⁻²	g	cm	aantal plant ⁻¹	(d°C)
normaal	20.9	3073	1416	836	0.590	3.57	22108	433	34.1	35	182.6
75%	22.4	3081	1399	837	0.598	3.19	25379	439	34.2	39	186.4
90%	20.3	3090	1436	891	0.620	3.56	24069	417	33.6	40	189.6
100%	18.9	3089	1455	904	0.621	3.89	21867	411	33.1	37	189.3
110%	18.1	3085	1463	901	0.616	4.10	19840	400	33.0	34	189.2
125%	17.5	3075	1465	892	0.609	4.37	18502	397	32.8	32	184.4



Figuur 3.6. De variatiecoëfficiënt van de gesimuleerde fysiologische vruchtleeftijd, vruchtlengte, en vruchtdrooggewicht voor een komkommernajaarsteelt bij een normale teelt en bij het nastreven van een aantal trendlijnen.

Ook bij de najaarsteelt wordt de drogestofverdeling naar de vruchten verbeterd door het stabiliseren van de assimilatenbalans. De waarde van een normale teelt (0.59) wordt in alle gevallen overschreden. Ten opzichte van de fluctuatie van de drogestofverdeling bij een normale teelt, kent die bij het nastreven van de 100%-lijn twee veranderingen: de dag-tot-dag variatie wordt iets groter, maar de grote golven worden juist verminderd. Het nastreven van de 100%, 110% en 125% lijnen leidt net als bij de zomersteelt tot een hoger drogestofpercentage van de vruchten

dan in het geval van een normale teelt (3.57%), omdat de gemiddelde temperatuur lager is. Net als bij de winterteelt, en in mindere mate bij de zomerteelt, is het drogestofpercentage van de vruchten bij eenzelfde gemiddelde etmaaltemperatuur bij de geoptimaliseerde teelten lager dan bij een normale teelt (Figuur 3.8). Het blijkt ook bij de najaarsteelt dat de laagste temperaturen moeten worden vermeden, vanwege het hoge drogestofpercentage dat de versoogst drukt. Deze ligt alleen in geval van nastreven van de 75% en 90% lijnen boven het normale niveau ligt.

Er is weinig variatie in vruchtlengte bij het nastreven van de verschillende assimilatenbalansen. Alleen het nastreven van de 75%-lijn resulteert gemiddeld in een langere vrucht. In alle gevallen wordt de vruchtlengte gestabiliseerd. De variatie in de fysiologische vruchtleeftijd is bij het stabiliseren van de assimilatenbalans groter dan in het geval van een normale teelt. Het vruchtdrooggewicht wordt in het algemeen minder stabiel als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd, terwijl het vruchtversgewicht in het algemeen licht stabiliseert (alleen niet bij het nastreven van de 100% lijn). In een normale zomer worden er 35 vruchten plant⁻¹ geoogst, leidt het nastreven van de 100% lijn tot 2 extra vruchten. Het nastreven van lijnen die in een lagere gemiddelde temperatuur resulteren, resulteren ook in minder vruchten.

3.2.6 Overzicht van de drie seizoenen

De gevolgen van het stabiliseren van de assimilatenbalans kunnen als volgt worden samengevat:

1. De drogestofverdeling naar de vruchten, en de drogestofgroei van de vruchten nemen toe.
2. Het stabiliseren van de assimilatenbalans op een hogere waarde kan worden bereikt door een lagere temperatuur na te streven. Dit gaat echter gepaard met een verhoging van het drogestofgehalte, wat nadelig is voor het versgewicht.
3. Het is mogelijk om een lagere gemiddelde etmaaltemperatuur te combineren met een hogere versproductie. De volgende trendlijnen moeten dan worden nagestreefd:
 - a. Winter: 100%
 - b. Zomer: 100%
 - c. Herfst: 90%
4. Het aantal vruchten dat in deze gevallen wordt geoogst stijgt in de winter en in de zomer met 1 vrucht plant⁻¹, en in de herfst met 5 vruchten plant⁻¹.
5. Er treedt in de zomer en de herfst een stabilisatie op van de drogestofverdeling naar de vruchten, waarbij in de herfst opvalt dat de grote golven over langere tijd worden weggenomen.
6. De vruchtlengte wordt op seizoensbasis stabiel. In de winter en in de zomer wordt op seizoensbasis het vruchtversgewicht en de vruchtleeftijd in veel gevallen stabiel. In de herfst is dit niet het geval.

In meer detail:

Assimilatenbalans. Omdat het gewasgroeimodel geen beperkingen kent ten aanzien van de klimaatregeling, kan er ten volle gebruik worden gemaakt van de mogelijkheid om de temperatuur te variëren tussen de opgelegde begrenzingen van 15 en 30°C. **Het resultaat hiervan is dat in alle teelten de assimilatenbalans goed gestabiliseerd kan worden.**

Temperatuur. In de winterteelt moet vaak een erg lage of erg hoge temperatuur worden ingesteld om de assimilatenbalans te stabiliseren. Dit hoeft niet bezwaarlijk te zijn, mits over enkele dagen gemiddeld een normale temperatuur wordt gehandhaafd. Anders bestaat er kans dat de bladontwikkeling achterblijft. In het najaar, en in mindere mate in de zomer werden relatief vaak lage etmaaltemperaturen berekend. Blijkbaar is op deze momenten de vraag naar assimilaten te hoog en daardoor de assimilatenbalans te laag.

Bruto fotosynthese. De fotosynthese is niet erg gevoelig voor veranderingen in de temperatuur. Dit blijkt dan ook uit de simulaties van met name de winter- en de herfstteelt, terwijl er bij de simulatie van de zomerteelt iets meer variatie in de cumulatieve bruto fotosynthese wordt berekend. **In de meeste gevallen is de cumulatieve bruto fotosynthese bij het stabiliseren van de assimilatenbalans groter dan bij een normale teelt.** De enige uitzondering hierop wordt gevormd door het nastreven van de 75% en 90% lijnen in de winter.

Drogestofgroei gewas. De cumulatieve drogestofgroei van het gehele gewas vertoont meer variatie tussen de streeflijnen dan de cumulatieve bruto fotosynthese. De oorzaak ligt in het feit dat de onderhoudsademhaling wel temperatuurafhankelijk is. Als bij stijgende temperatuur de bruto fotosynthese ongeveer gelijk blijft, zal de toenemende onderhoudsademhaling er toe leiden dat de drogestoftoename kleiner wordt. **In de winter is de drogestoftoename van het hele gewas bij het stabiliseren van de assimilatenbalans lager dan bij een normale teelt, maar in de zomer en in de herfst is ze hoger.**

Drogestofgroei vruchten en drogestofverdeling. **In zo goed als alle gevallen verbetert de drogestofverdeling als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd: in verhouding gaat er meer drogestof naar de vruchten.** In de winter neemt de fractie toe van 0.61 naar 0.64, in de zomer neemt de fractie toe van 0.68 naar 0.72, en in de herfst neemt de fractie toe van 0.59 naar 0.62 (vergelijking tussen een normale teelt en het nastreven van de 100% lijn). **Het resulteert in vrijwel alle gevallen in een verhoogde drogestofgroei van de vruchten.** Dit alles wijst er op dat stabilisering van de assimilatenbalans in potentie productieverhogend werkt.

Drogestof vruchten en versooft. Een lagere temperatuur leidt tot een hoger drogestofpercentage van de vruchten. Dit werkt nadelig op de versproductie als het stabiliseren van de assimilatenbalans wordt gecombineerd met energiebesparing en temperatuurverlaging. Dit effect treedt in alle seizoenen op. Terwijl de totale drogestoftoename het hoogste is bij relatief lage temperaturen, is de totale versgewichtstoename het hoogst bij relatief hoge temperaturen. **Er ligt hier een direct verband met de mate van energiebesparing: energiebesparing, als dit temperatuurverlaging geeft, kan nadelig zijn voor het versgewicht van de vruchten.** Introduceren van maatregelen die temperatuurdaling tegengaan, zoals later luchten, gelden voor zowel de referentie als de MTI-regeling, dus zijn hiervoor geen oplossing.

Aantal vruchten en vruchtversgewicht. Het gemiddelde versgewicht van een vrucht is gekoppeld aan de totale versooft en het aantal geoogte vruchten. Vruchtzetting, en daarmee het uiteindelijk aantal geoogte vruchten, is een gecompliceerd proces, waarin de beschikbaarheid van assimilaten, de temperatuur en het aantal reeds aan de plant aanwezige vruchten een belangrijke rol spelen. Het principe is dat een pas geïnitieerd vruchtbeginsel goed kan zetten als er voldoende assimilaten aanwezig zijn. Een hoge straling, een goede temperatuur, en weinig andere concurrerende vruchten aan de plant bevorderen dit. **Het aantal vruchten dat in de loop van het seizoen wordt geoogst is bij het stabiliseren van de assimilatenbalans in veel gevallen hoger dan bij een normale teelt. Een hogere gemiddelde temperatuur leidt tot een hoger aantal geoogte vruchten,** zodat er een afweging met het energiegebruik aanwezig is. De balans tussen de totale versooft en het aantal geoogte vruchten is dusdanig dat bij het nastreven van de 75%, 90% en 100%-lijnen (met de hoogste gemiddelde temperaturen) het versgewicht van de vruchten het hoogste is.

In de winter en de zomer wordt over het hele seizoen gezien het vruchtversgewicht in veel gevallen stabiel als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd, terwijl er in de herfst weinig verandering optreedt.

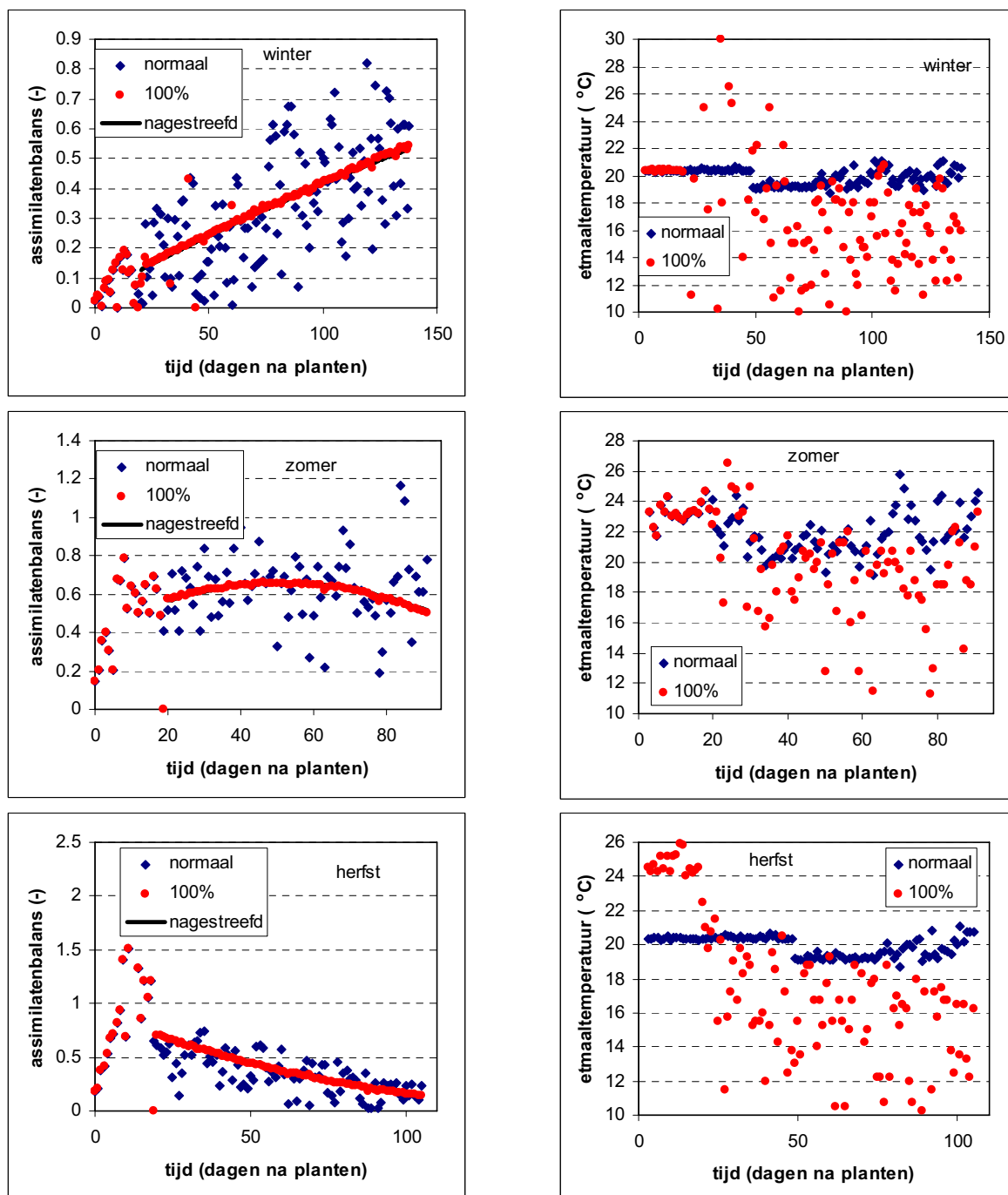
Vrucht lengte. Vrucht lengte en vers vruchtgewicht zijn aan elkaar gekoppeld, zodat de vrucht lengte hetzelfde beeld vertoont als het vers vruchtgewicht. **De variatiecoëfficiënt van de gemiddelde vrucht lengte neemt wel in veel gevallen af, zodat de teler een meer stabiele oogst krijgt.**

Vruchtleeftijd. De fysiologische vruchtleeftijd (uitgedrukt in graaddagen) is een belangrijk kwaliteitskenmerk, en stabilisatie hiervan is voor de teler aantrekkelijk. **In de winter en de zomer stabiliseert ook de vruchtleeftijd zich als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd.** In de herfst is dit niet het geval.

3.2.7 Volledige stabilisering van de assimilatenbalans

De vraag rijst welke etmaaltemperaturen moeten worden gerealiseerd om de assimilatenbalans volledig te stabiliseren. In de berekeningen in de vorige paragrafen werd in veel gevallen de nagestreefde waarde van de assimilatenbalans goed benaderd, maar er bleven toch ook dagen over waarop dit binnen de 15-25° C bandbreedte voor de etmaaltemperatuur niet mogelijk bleek. Daarom zijn voor ieder seizoen berekeningen uitgevoerd waarbij de 100%-lijn

is nagestreefd en de etmaaltemperatuur tussen 10 en 30° C kon variëren. Dit geeft meer mogelijkheden om de gewenste assimilatenbalans te realiseren. De resultaten voor wat betreft de assimilatenbalans en de etmaaltemperatuur zijn in Figuur 3.7 samengevat. De assimilatenbalans werd op bijna alle dagen op de streefwaarde gebracht, wat een lagere seizoenstemperatuur met zich meebracht dan de wanneer de temperatuur tussen 15 en 25° C kon variëren (winter: 17.4° C, zomer: 20.1° C, herfst: 17.5° C). Deze lagere temperaturen hebben uiteraard consequenties voor drogestoftoename, drogestofpercentage van de vruchten, versproductie en andere gewasparameters, waar hier niet verder op wordt ingegaan.



Figuur 3.7. Gesimuleerde gewaskarakteristieken bij normale teelten (blauwe punten) en bij het nastreven van de 100%-trendlijn (rode punten), als de etmaaltemperatuur tussen 10 en 30° C gevarieerd kan worden. Links: assimilatenbalans; rechts: etmaaltemperatuur.

4. Energiebesparing in de praktijk

In hoofdstuk 3 werden berekeningen gepresenteerd die waren uitgevoerd met het INTKAM komkommermodel op basis van een representatieve klimaatfile (SeJaar). Er werd aangenomen dat iedere dag de etmaaltemperatuur naar believen tussen 15 en 25° C gevarieerd kon worden. Als rekening wordt gehouden met de beperkingen van een kasklimaat, is dit laatste niet het geval. In de winter kan de stookcapaciteit te beperkt zijn om een etmaaltemperatuur van 25° C te realiseren, en in de zomer kan het niet mogelijk zijn om een etmaaltemperatuur van 15° C te realiseren.

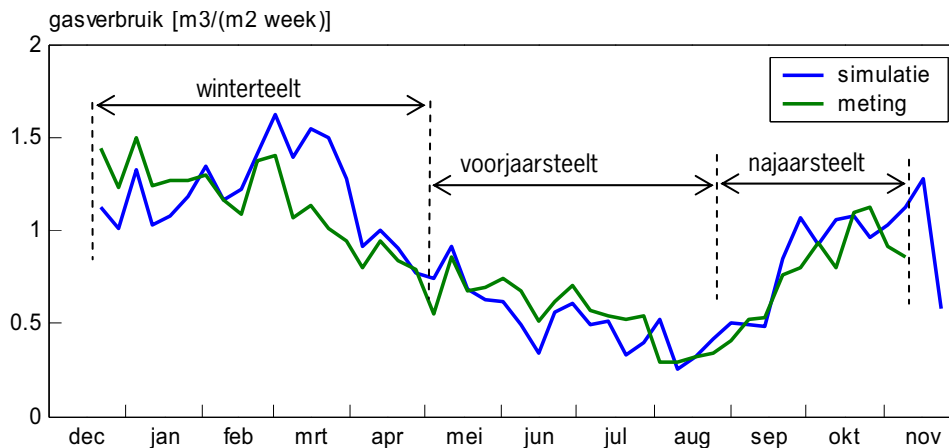
Om deze reden is er in hoofdstuk 4 gerekend met het gecombineerde INKAM gewasmodel en het KASPRO kasklimaatmodel. Tegelijkertijd is er uitgegaan van een werkelijke praktijksituatie. Dit heeft onder meer tot gevolg gehad dat de omschrijving van de uitgangskas iets anders is geweest dan in hoofdstuk 3.

4.1 Een praktijksituatie

Er zijn gegevens verkregen van een energiezuinige teler over het jaar 2004. Er werden in dat jaar drie komkommers gewassen geteeld bij een plantdichtheid van 1.35 planten m². Wekelijkse gegevens ten aanzien van productie, vers vruchtgewicht, klimaatregeling en gasverbruik waren beschikbaar.

De seizoensproducties voor wat betreft de winter-, zomer- en najaarsteelt waren respectievelijk 18.7, 23.7 en 17.3 kg plant⁻¹, of 25.2, 32.3 en 23.4 kg m⁻².

Het gasverbruik dat deze tuinder realiseerde bedroeg 40 m³ m⁻². Daarmee is deze tuinder dus 8% zuiniger geweest dan de doorsnee komkommer tuinder. In onderstaande grafiek is getoond hoe het verloop van het gasverbruik over het teeltwijzen lag.



Figuur 4.1. Gemeten en gesimuleerd gasverbruik in een komkommerteelt in 2004. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de data afgevlakt met een 3-weeks voortschrijdend gemiddelde filter.

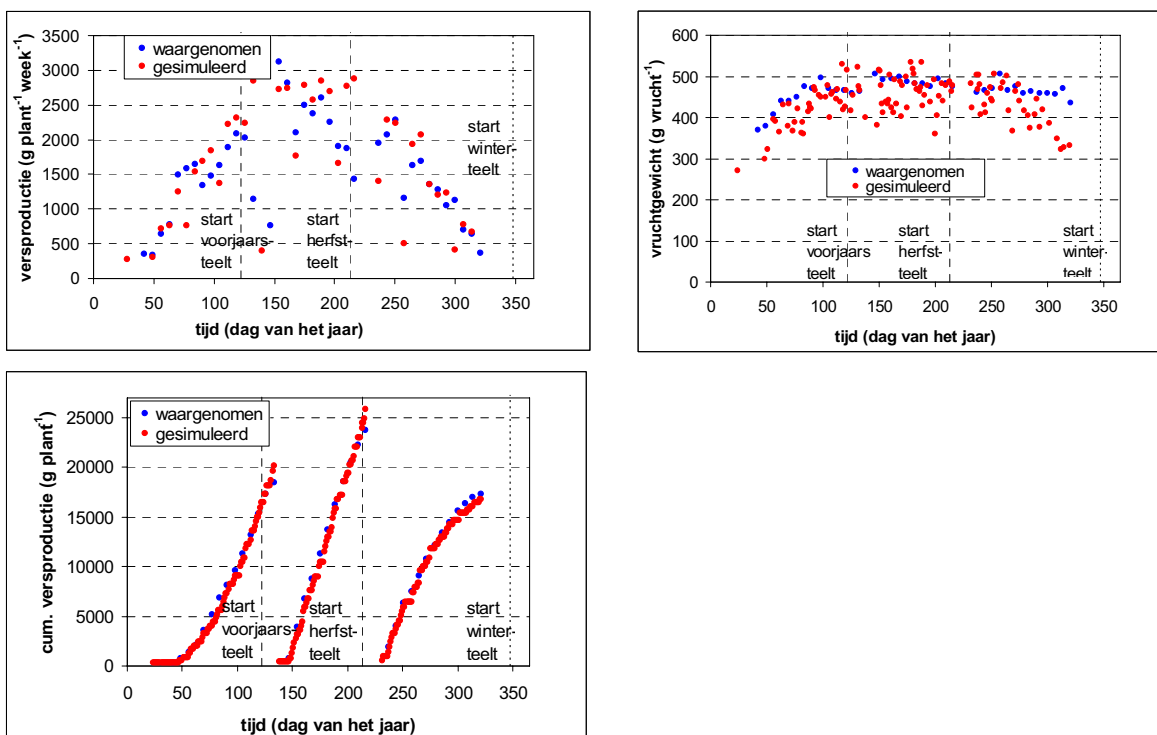
Het grootste deel van het gasverbruik wordt gebruikt in de winterteelt (22 m³ m⁻²). In de zomerteelt is 7 m³ m⁻² gebruikt in de najaarsteelt 11 m³ m⁻².

4.2 Narekenen van de praktijksituatie

4.2.1 Gewasgroei

De drie teelten werden met het INTKAM-komkommermodel nagerekend (Marcelis & Gijzen, 1998a, b), waarbij het moment van de eerste oogst werd gekalibreerd door het aantal stamvruchten bij te stellen. Er werd gebruik gemaakt van de klimaatgegevens zoals deze door de teler ware geregistreerd. In Figuur 4.2, waarin de drie teelten zijn gecombineerd, wordt de waargenomen wekelijkse versogst vergeleken met de gesimuleerde. De cumulatieve gesimuleerde seizoensproducties komen goed overeen met de waargenomen, zowel met betrekking tot het moment van de oogstperiode als het totale oogstgewicht. Het verloop van de wekelijkse productie staat in verband met de hoeveelheid straling die op het gewas valt, die een piek in de zomer vertoont. Tijdens de meest productieve periode (eind winterteelt + zomerteelt + begin herfstteelt) komt het gesimuleerde versgewicht heel goed overeen met het waargenomen versgewicht. Met name aan het begin van de winterteelt en aan het einde van de herfstteelt wordt het gewicht per vrucht iets onderschat.

De conclusie is dat het INTKAM model goed in staat is om het grootste deel van de praktijkteelten na te rekenen, en daarmee gebruikt kan worden om de studie te verrichten.



Figuur 4.2. Waargenomen (blauw) en gesimuleerde (rood) waarden van wekelijks geoogst versgewicht (linksboven), cumulatief geoogst overgewicht, en vruchtgewicht (linksonder).

4.2.2 Instellingen kasklimaat en energieverbruik

Kas

Bij de referentieteelt is uitgegaan van een kas van 1.8 ha met een goothoogte van 5 m. De traliemaat is 8 m (2 kappen van 4 m) en de pootafstand is 5 m. Het verwarmingssysteem is een standaard systeem voor de intensieve glasgroenteteelt en bestaat uit 5 45 mm buizen per kap in het ondernet en half zo veel 26 m buizen in het bovennet. Het bovennet fungeert als condensornet, maar ook als secundair net wanneer een groot verwarmings-

vermogen noodzakelijk is. De kas is uitgerust met een rookgas-verdeelsysteem voor de CO₂-dosering waarmee maximaal 180 kg CO₂ ha⁻¹ uur⁻¹ kan worden toegediend. De ketel heeft een aansluitcapaciteit van 160 m³ ha⁻¹ uur⁻¹ en er is een warmte-opslag buffer met een waterinhoud van 120 m³ ha⁻¹.

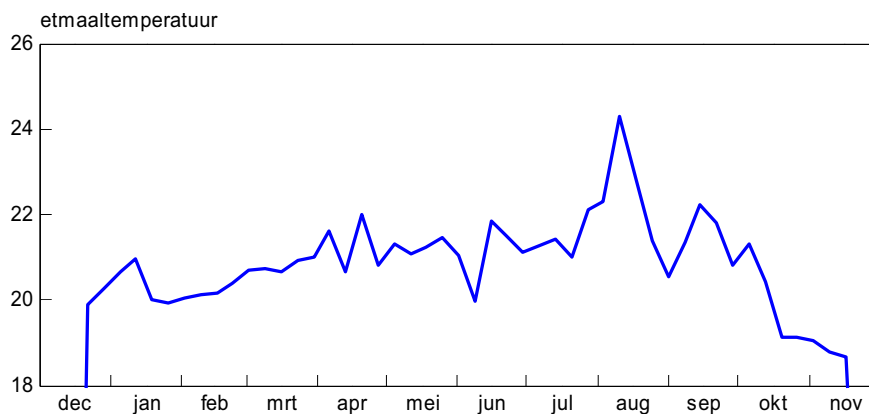
Gewas- en teeltgegevens

Een moderne komkommertuinder plant in de regel 3 keer per jaar. Gangbare plantweken, en daarom toegepast in dit project, zijn week 50 (14 december), week 18 (2 mei) en week 31 (2 augustus). De gewassen werden geruimd op 13 mei, 5 augustus en 18 november. De teeltwisselingen in mei en augustus vinden plaats door tussenplantingen, waardoor de kas eigenlijk niet leeg komt te staan.

Kasklimaat

Komkommers worden warm geteeld. In Figuur 4.3 wordt het verloop van de etmaaltemperatuur door het teeltjaar getoond.

In de koude periode van het jaar (vanaf eind september) staat de ventilatielijn ver boven de stooklijn (5 tot 6°C hoger). Er wordt derhalve weinig warmte afgelucht, zodat op heldere dagen hoge etmaaltemperaturen kunnen worden behaald. Vanaf half april is het zaak de etmaaltemperatuur te drukken, zodat in die periode de ventilatielijn slechts 1 °C boven de stooklijn wordt gelegd.



Figuur 4.3. Etmaaltemperatuur in een komkommerteelt in 2004. Om de grafiek makkelijk leesbaar te maken zijn de daggemiddelde temperaturen afgevlakt met een 5-daags voortschrijdend gemiddelde filter.

In principe wordt vanaf 1 augustus tot 1 mei gedurende de nacht gebruik gemaakt van een minimum buis op het ondernet van 40 °C (vanaf 01:00). Overdag is de minimumbuis temperatuur 45 °C, maar in het globale stralings-traject van 100 tot 200 W m⁻² wordt deze alweer afgebouwd zodat in de praktijk de minimumbuis overdag veelal uit staat.

Er wordt ingegrepen op de luchtvochtigheid wanneer de kaslucht boven de 85% RV komt. De regelactie is beperkt, met name als het buiten koud is, namelijk 1% raamopening per % overschrijding van de RV wanneer het buiten kouder dan 5 °C is. Als het buiten warmer dan 10 °C is wordt het raam met 2% per % overschrijding op de RV geopend.

De CO₂-dosering vindt plaats door middel van ketelrookgassen van zonopkomst tot een uur voor zonsondergang. De doseersnelheid is 180 kg/uur, maar wordt getemperd indien de bijbehorende branderstand tot een warmteoverschot zou leiden. De warmtevraag is daarmee leidend voor de CO₂ dosering. Het setpoint voor de CO₂-concentratie in de kas is 650 ppm in de periode van 14 december tot 1 april en in de rest van het jaar (behoudens tijdens de teeltwis-

selingen) 750 ppm. Overigens zullen deze concentraties niet gehaald worden wanneer er serieus op temperatuur gelucht moet worden. De praktijkkas gebruikt geen temperatuurintegratie, maar had in de koude periode van het jaar (1 sept t/m 15 april) wel een ruime dode zone (6°C). Met name dit laatste kan worden beschouwd als een impliciete temperatuurintegratie.

Er wordt een transparant beweegbaar scherm type SLS 10 ultra plus gebruikt tussen 15 oktober en 1 mei. In het koudste deel van het jaar (vanaf 14 december tot half januari) wordt dit scherm alleen geopend bij hoge stralingsniveaus (meer dan 100 Wm²) en buitentemperaturen boven 7°C. In de warmere perioden blijft gaat het scherm bij het eerste ochtendlicht al open. Wanneer de RV minder dan 0.5% onder het setpoint komt wordt het scherm op een vochtier van 4% getrokken en bij blijvend te hoge RV wordt het scherm na een half uur geheel geopend.

4.3 Toepassen van MTI in winter, zomer en herfst

4.3.1 Leeswijzer

Het toepassen van meerdaagse temperatuurinstellingen op basis van de assimilatenbalans is voor deze praktijk-situatie geëvalueerd. Er worden in de volgende paragrafen figuren gepresenteerd waarin voor de drie seizoenen wordt samengevat hoe diverse grootheden zich gedragen als de assimilatenbalans naar verschillende niveaus wordt gestabiliseerd. Het betreft veel informatie, maar er is gepoogd deze zo toegankelijk mogelijk te presenteren. Per figuur wordt het volgende getoond:

- Resultaten voor de winter-, zomer-, en herfstteelt.
- Per seizoen uitgesplitst naar het stabiliseren van de assimilatenbalans naar verschillende niveaus. Hierbij is de 100%-lijn de beste statistische beschrijving van de normale assimilatenbalans (zie paragraaf 2.2.2). Hierop wordt gevarieerd door er lijnen onder en boven te kiezen: 80% van de waarde, 85% van de waarde, enzovoorts, oplopend tot 125%.
- Er zijn steeds drie soorten berekeningen uitgevoerd om de assimilatenbalans de stabiliseren:
 - a. **Groene punten:** Alleen met INTKAM, zoals beschreven in paragraaf 3.2.2. De gemiddelde etmaaltemperatuur wordt dusdanig gevarieerd tussen 15 en 25°C dat de assimilatenbalans op, of zo dicht mogelijk bij de streefwaarde ligt. Deze berekeningen geven aan wat de potentie van het gewas is, zonder rekening te houden met de beperkingen van de temperatuurregeling. **Hieraan wordt gerefereerd als MTI - Gewas.**
 - b. **Rode punten:** INTKAM in combinatie met KASPRO, zodat rekening wordt gehouden met de beperkingen van de temperatuurregeling. De verwarmingscapaciteit in de winter kan bijvoorbeeld niet voldoende zijn om de etmaaltemperatuur op 25°C te brengen, of in de zomer kan mogelijk niet tot een etmaaltemperatuur van 15°C worden gekoeld. Energiebesparing is nog geen overweging. **Hieraan wordt gerefereerd als MTI – EB.**
 - c. **Blaue punten:** INTKAM in combinatie met KASPRO, terwijl er naar energiebesparing wordt gestreefd (zie paragraaf 4.3.2 voor een uitleg van de aanpak hiervan). **Hieraan wordt gerefereerd als MTI + EB.**

MTI - Gewas	Berekeningen uitgevoerd met het gewasmodel INTKAM, die de potentie van het gewas aangeven, zonder rekening te houden met de beperkingen van de temperatuurregeling.
MTI - EB	Berekeningen uitgevoerd met INTKAM in combinatie met het kasmodel KASPRO, zodat rekening wordt gehouden met de beperkingen van de temperatuurregeling. Energiebesparing is geen overweging.
MTI + EB	Berekeningen uitgevoerd met INTKAM in combinatie met het kasmodel KASPRO, zodat rekening wordt gehouden met de beperkingen van de temperatuurregeling. Er wordt naar energiebesparing gestreefd.

4.3.2 Procedure om de assimilatiebalans te stabiliseren

Het primaire doel van de kasklimaatregeling was het stabiliseren van de assimilatenbalans. Concreet betekent dit dat de klimaatregelaar voor elke dag een zodanige temperatuur kiest dat het assimilatenaanbod voor die dag (vooral lichtgestuurd) in een vooraf bepaalde verhouding komt te staan ten opzichte van de assimilatenvraag voor die dag (vooral etmaaltemperatuur gestuurd) (zie ook § 2.3.2, onderdeel berekeningen). Om dit voor een praktijkgetrouwe situatie te realiseren werd er, uitgaande van de weersverwachting voor de komende periode, met een kasklimaat-simulatiemodel berekend welk kasklimaat er zou gaan heersen bij verschillende instellingen van de stooklijn. De ligging van de ventilatielijn is relatief ten opzichte van de stooklijn, zodat met het verschuiven van de stooklijn ook de ventilatielijn verschuift. Op deze manier werden een aantal realiseerbare kasklimaten gegenereerd, welke bestaan uit een consistente set van kasluchttemperaturen, luchtvochtigheid, stralingsniveaus en CO₂-concentraties. Deze kasklimaten werden aangeboden aan het gewasgroe- en ontwikkelingsmodel INTKAM. Voor elk van die kasklimaten berekende INTKAM de daaruit resulterende assimilatenbalans.

Het resultaat van bovenbeschreven erkenexercitie was dat er voor elke dag een relatie werd gelegd tussen de instelling van de kasklimaatregelaar (de stooklijn) en de daaruit voortkomende assimilatenbalans. Vervolgens kon op eenvoudige wijze worden vastgesteld welke instelling voor de stooklijn de plantbalans op het gewenste niveau bracht. Als deze dan vervolgens werd geïmplementeerd kon de assimilatenbalans op de meeste dagen op of dicht bij het gewenste niveau worden gebracht.

Het zal evenwel opvallen dat in bovenbeschreven procedure geen rekening is gehouden met energiebesparing. Omdat daar waar mogelijk en verantwoord de besparing van energie wenselijk is, werd gekeken naar het effect van een versoepeling van de plantbalans-eis ten gunste van energiebesparing. Het is immers bekend dat planten een zekere bufferingscapaciteit hebben (welke ook door INTKAM wordt gesimuleerd), zodat het niet noodzakelijk is om de plantbalans per dag op de gewenste trendlijn te brengen.

Wanneer wordt gesteld dat in plaats van het streven naar een dagelijkse waarde voor de assimilatenbalans de realisatie van een driedaags gemiddeld correcte assimilatenbalans ook tot de gewenste plantfysiologische voordelen leidt, ontstaat er ruimte waarbinnen een optimalisatieprocedure ook energetische overwegingen kan meenemen. Concreet betekent dit dat wanneer het meer energie kost in geval de assimilatenbalans drie dagen achtereen op de trendlijn wordt gebracht dan wanneer een te hoge assimilatenbalans op de eerste dag gecompenseerd mag worden met een te lage assimilatenbalans op de derde dag, vanuit energetisch oogpunt de tweede strategie uiteraard de voorkeur geniet.

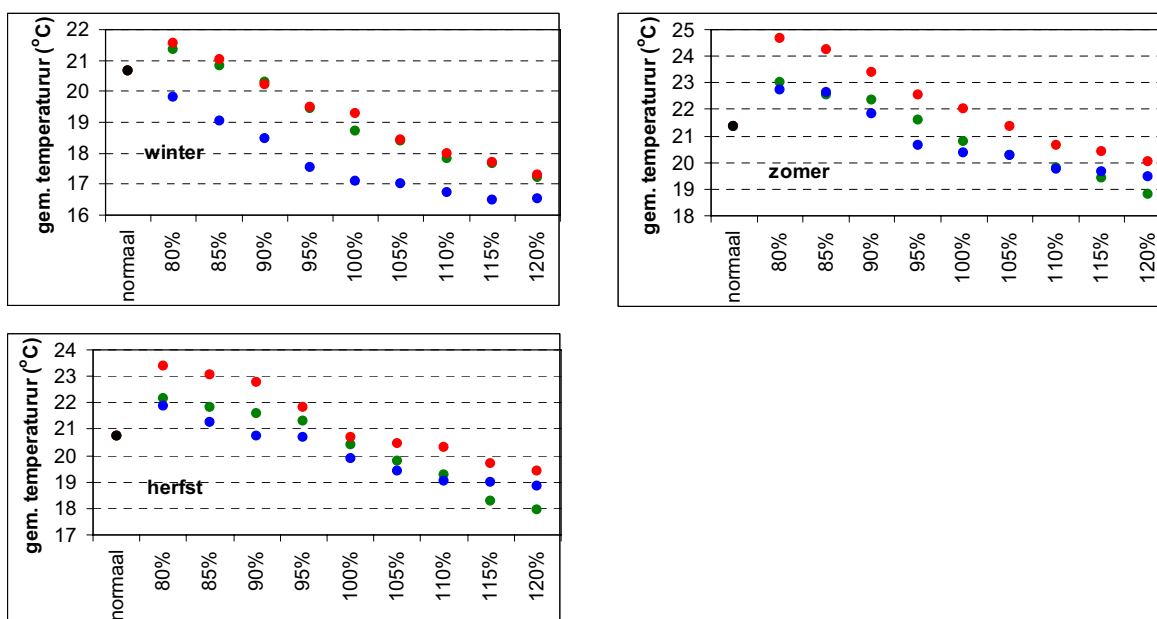
In voorliggend project werd de benutting van deze optimalisatieruimte uitgewerkt door voor elke dag waarvoor een optimale temperatuurinstelling moest worden bepaald de consequenties van alle mogelijke keuzes voor de komende drie dagen, zowel in termen van plantbalanseffect als in termen van energieverbruik, te berekenen. Van alle combinaties zou in veel gevallen de over drie dagen gemiddelde assimilatenbalans sterk afwijken van het gemiddelde van de trendlijn voor die dagen. Al deze combinaties vielen daarmee af. Er zouden echter een aantal combinaties van temperatuurinstellingskeuzes zijn waarvan de gemiddelde assimilatenbalans dicht bij het gewenste niveau lagen. Door nu uit deze resterende combinaties die combinatie te kiezen die het minste energie verbruikt kon de stabilisatieprocedure ook het energieverbruik minimaliseren.

Voor de duidelijkheid zij hier nog vermeld dat het ontwikkelde algoritme geen afweging maakt tussen de voor- en nadelen van het bewust afwijken van de assimilatenbalans ten gunste van een verminderd energieverbruik. Om dit te kunnen doen zou het algoritme immers kosten of baten moeten kunnen toekennen aan (een afwijking van) de assimilatenbalans.

4.3.2 Temperatuur

De gemiddelde temperatuur bij een normale teelt in de winter, de zomer en de herfst bedraagt respectievelijk 19.3, 21.3 en 20.6°C.

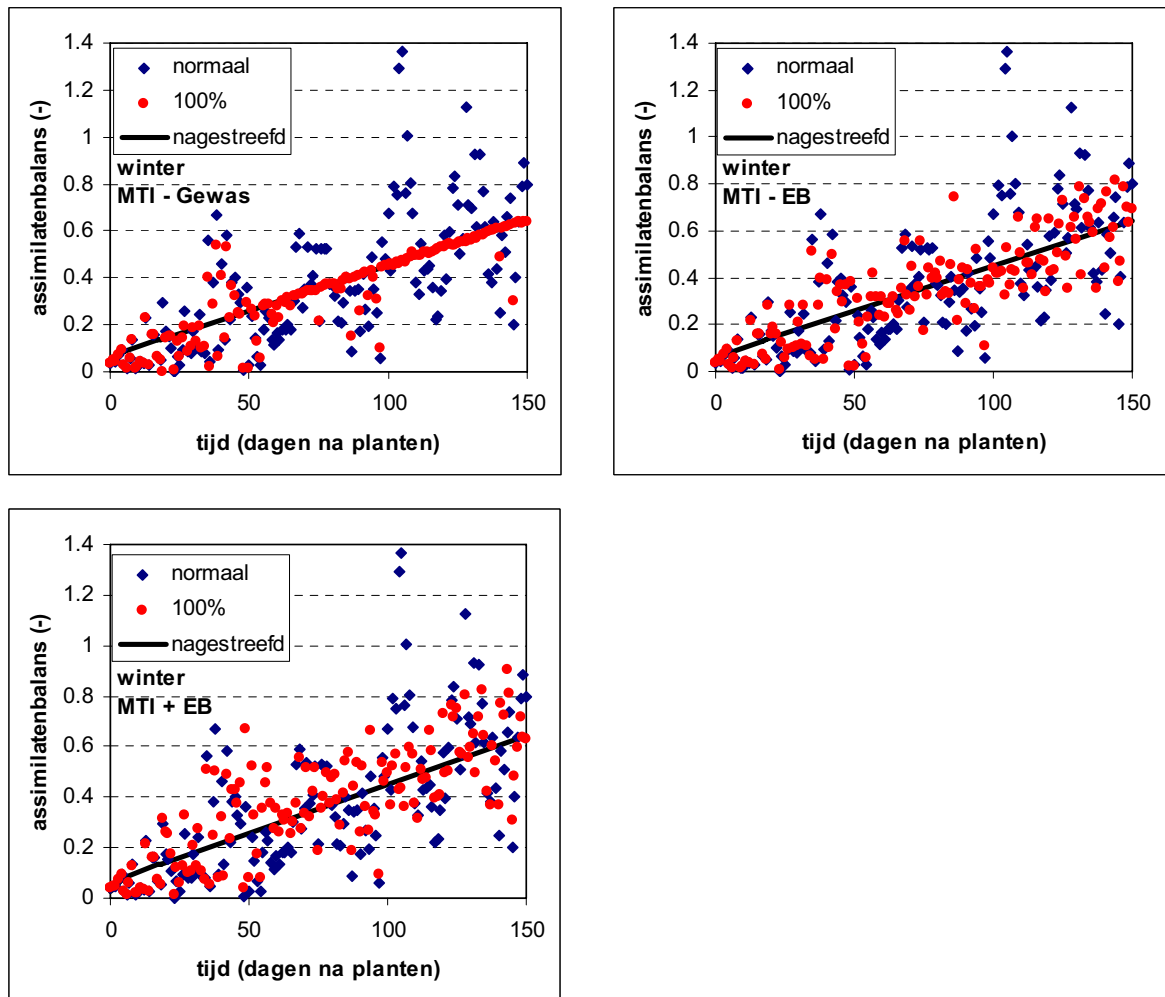
Zoals al werd geconstateerd bij de verkennende berekeningen in hoofdstuk 4 leidt het nastreven van een lagere assimilatenbalans (dus bijvoorbeeld door de 80%-lijn na te streven in plaats van de 100%-lijn) tot een hogere gemiddelde etmaaltemperatuur (Figuur 4.4). MTI + EB leidt tot lagere temperaturen dan MTI – EB, wat een direct gevolg is van de energiebesparende optimalisatie. Een gemiddelde temperatuur bij MTI + EB die gelijk is aan de normale gemiddelde temperatuur kan in de zomer of de herfst door de 90% of 95%-lijn na te streven. In de winter is in alle gevallen de gemiddelde temperatuur lager. Of dat wenselijk is, hangt helemaal af van de gevolgen voor productie en gasverbruik (zie volgende paragrafen).



Figuur 4.4. Gesimuleerde gemiddelde seizoenstemperatuur gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.
Zwart: normale teelt; **groen**: MTI - Gewas; **rood**: MTI - EB; **blauw**: MTI + EB.

4.3.3 Assimilatenbalans

In het geval van MTI – Gewas wordt de nagestreefde assimilatenbalans op de meeste dagen goed gerealiseerd. Onder deze omstandigheden kan de etmaaltemperatuur volop worden gevarieerd tussen 15 en 25°C. In de gevallen van MTI – EB en MTI + EB kan er echter minder vrij met de temperatuur worden gevarieerd, wat tot gevolg heeft dat de assimilatenbalans minder goed wordt bereikt. Dit is voor de winterteelt geïllustreerd in Figuur 4.5. De consequenties hiervan worden in de volgende paragrafen behandeld.



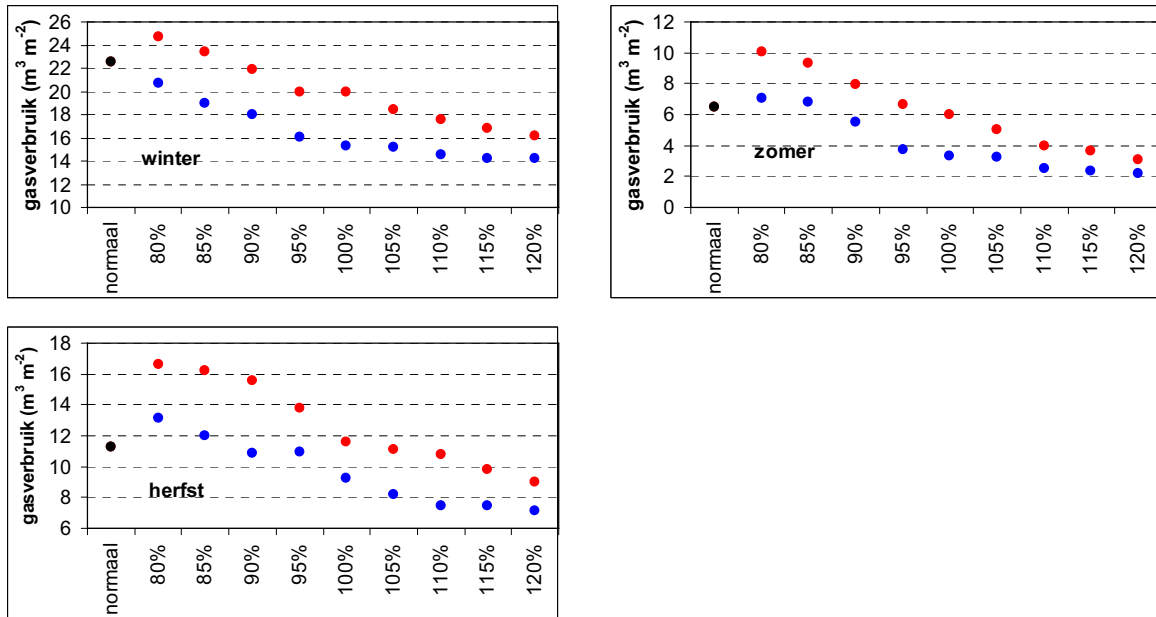
Figuur 4.5. Gesimuleerde assimilatenbalansen in de winter als de assimilatenbalans niet (blauwe punten) en wel (rode punten) worden gestabiliseerd in de richting van de trendlijn (zwart). De berekeningen zijn uitgevoerd voor MTI - Gewas, MTI - EB en MTI + EB.

4.3.4 Gasverbruik

De kosten van het gasverbruik zijn uitermate belangrijk in de beoordeling van een energiemaatregel. Uiteindelijk zal de teler kijken naar de kosten hiervan in samenhang met de opbrengsten van de productie. Terwijl in de verkennende berekeningen is het gasverbruik niet aan de orde geweest, omdat deze berekeningen zonder de inzet van een kasmodel waren uitgevoerd, wordt het gasverbruik bij de praktijkberekeningen wel meegenomen.

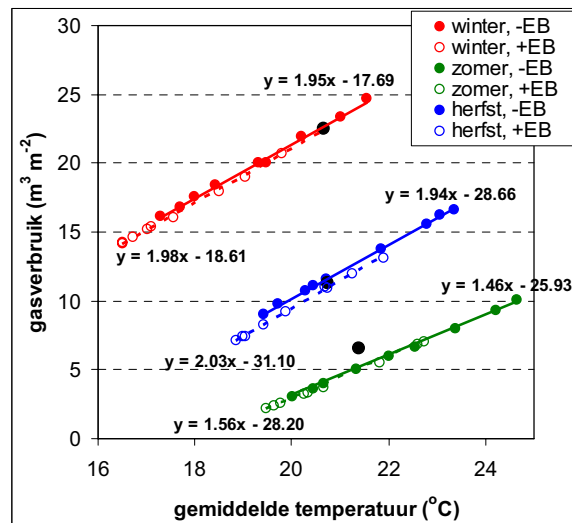
Het berekende gasverbruik (Figuur 4.6) houdt gelijke tred met het verloop van de gemiddelde temperatuur. Een lagere temperatuur gaat gepaard met een lager energieverbruik, wat het geval is als naar een hogere assimilatenbalans (= lagere vraag naar assimilaten) wordt gestreefd. Er is een aanmerkelijk verschil in gasverbruik tussen MTI - EB en MTI + EB. In de winter en herfst bedraagt dit op seizoensbasis ongeveer $4 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$, en in de zomer ongeveer $2 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$. Het effect van het toevoegen van energiebesparing aan de optimaliseringsprocedure is dus aanzienlijk.

Een lager gasverbruik dan in het geval van een gewone teelt werd in de winter in alle gevallen van MTI + EB gerealiseerd. In de zomer en in de herfst moet de 90%-lijn of hoger worden nagestreefd om het gasverbruik te verminderen.



Figuur 4.6. Gesimuleerde totaal gasverbruik gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.

Rood: MTI - EB; **blauw:** MTI + EB



Figuur 4.7. Gesimuleerde totaal gasverbruik in relatie tot de gemiddelde temperatuur, gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd.

Zwart: normale teelt; **gesloten rondjes:** MTI - EB; **open rondjes:** MTI + EB. **Lijnen:** lineaire fits.

Aleen in de herfst is het verband op seizoensbasis tussen temperatuur en gasverbruik licht afhankelijk van het al dan niet besparen van energie (Figuur 4.7). Bij MTI + EB daalt het gasverbruik doordat de temperatuur daalt, en daalt het gasverbruik ook nog eens extra omdat het algehele niveau van de relatie iets daalt. Bij 20° C is dit verschil op seizoensbasis 0.64 m³ m². In de herfst kan een energieoptimaliserend algoritme wat energiebesparing opleveren door op gunstige dagen wat hoger te stoken en op ongunstige dagen wat lager. Of het algoritme kan bij gelijkblijvend gasverbruik van 10 m³ m² een 0.3 °C hogere gemiddelde etmaaltemperatuur inzetten.

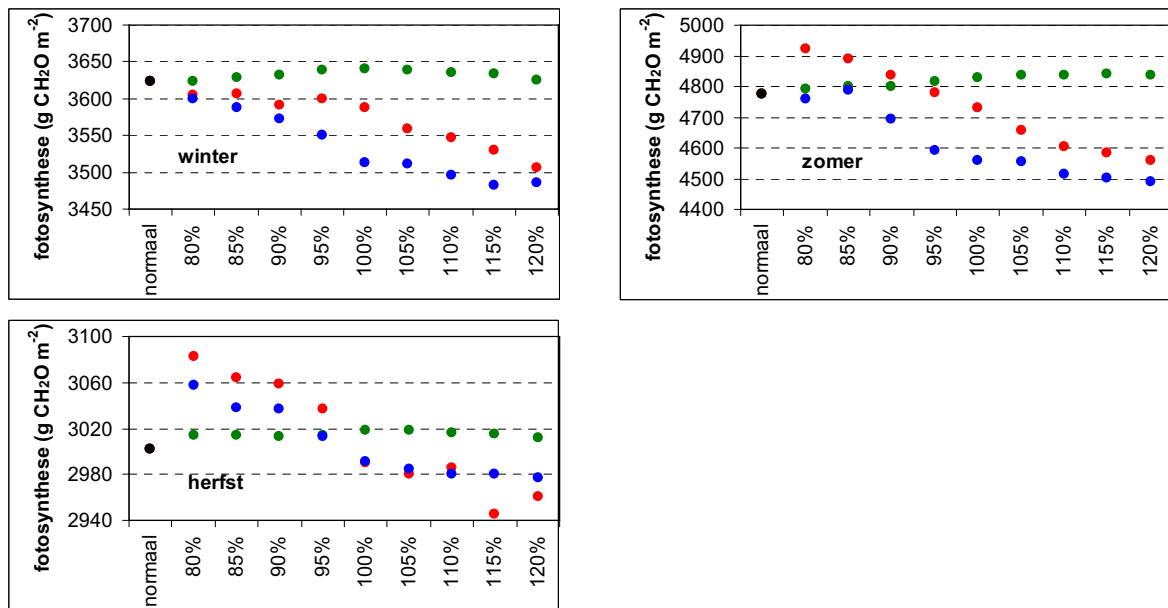
In de winter en de zomer wordt op seizoensbasis het verband tussen de gemiddelde temperatuur en totaal gasverbruik niet of nauwelijks beïnvloed door het feit of er al dan niet energiebesparing wordt nagestreefd. Dit betekent dat in de winter en de zomer energiebesparing eigenlijk uitsluitend gerealiseerd kan worden door een lagere gemiddelde temperatuur te kiezen. En dit is precies waar MTI + EB voor zorgt: de temperatuur kan worden verlaagd zonder dat dit ten koste gaat van de productie.

De herfst is ook het enige seizoen waar ten opzichte van een normale teelt het gasverbruik bij een bepaalde temperatuur door MTI wordt gereduceerd.

4.3.5 Fotosynthese

Het verband tussen temperatuur en bruto gewasfotosynthese is niet bijzonder sterk binnen het gebruikelijke traject van temperaturen. Dit bleek al uit de verkennende berekeningen, en ook uit de MTI-Gewas berekeningen (Figuur 4.8, groene punten). Deze laatste berekeningen houden geen rekening met de gevolgen van temperatuurveranderingen voor de andere klimaatfactoren. Als dit wel wordt gedaan, blijkt dat een lagere temperatuur tot een lager CO₂ niveau in de kas leidt (minder restgas) en daardoor wel tot een lichte daling van de gewasfotosynthese. Op warme dagen speelt luchten hier mogelijk een rol. Dit impliceert dat een deel van het temperatuureffect op de gewasfotosynthese eigenlijk een CO₂-effect is. Het effect is sterker als energiebesparing tot doel is gesteld.

De totale bruto fotosynthese in het geval van MTI + EB is alleen hoger dan de bruto fotosynthese van een normale teelt in het geval van een herfstteelt als naar een trendlijn van onder de 100% wordt gestreefd.



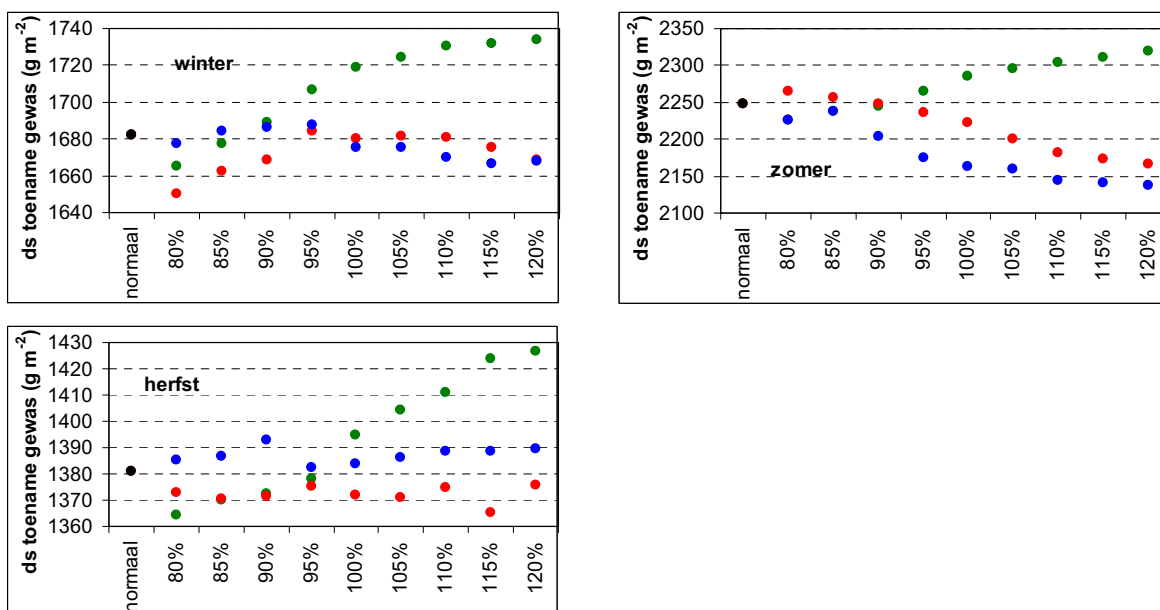
Figuur 4.8. Gesimuleerde totale seizoensfotosynthese gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen. **Zwart:** normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

4.3.6 Drogestoename gewas

De drogestoename van het gewas is de resultante van de bruto fotosynthese en de onderhoudsademhaling (zie paragraaf 3.2.3). Deze twee werken als volgt op elkaar in:

- Bij het nastreven van de trendlijnen tussen 80 en 90% speelt de temperatuur een dominante rol. Het nastreven van de 90%-lijn in plaats van de 80%-lijn betekent een iets lagere temperatuur en dus een iets lagere onderhoudsademhaling. Dit komt ten goede aan de drogestoename van het gewas.
- Bij een nog hogere nagestreefde assimilatenbalans en verder dalende temperaturen gaat het effect van de lagere CO₂-concentraties een rol spelen (zie paragraaf 4.3.5). De totale bruto fotosynthese daalt, en daarmee de totale drogestofproductie.

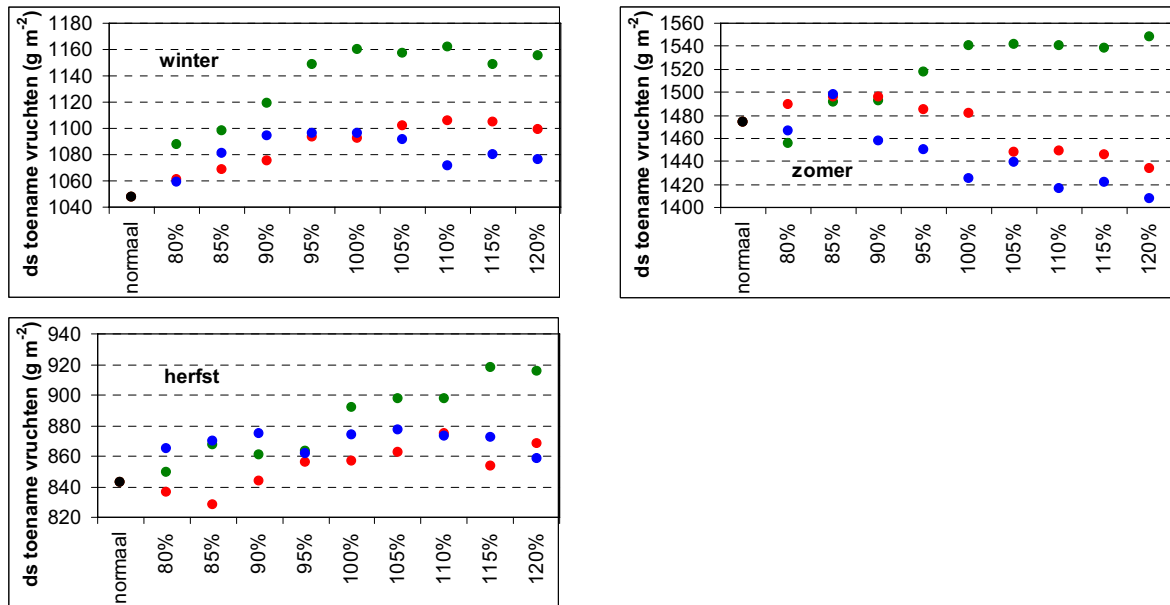
Het is belangrijk om te benadrukken dat de verschillen in de figuren erg klein kunnen zijn. Het verschil in de herfst tussen MTI – EB en MTI + EB is bijvoorbeeld op seizoensbasis slechts 10-20 g m⁻², ongeveer 1% van de totale drogestoename.



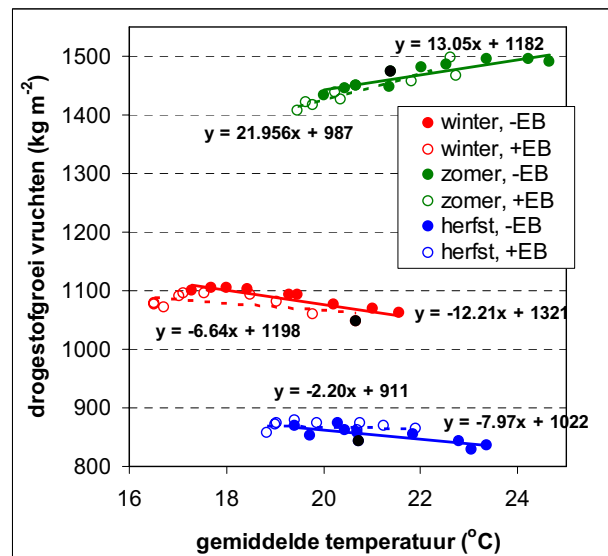
Figuur 4.9. Gesimuleerde drogestoename van het gewas gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.

Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

4.3.7 Drogestofoename vruchten



Figuur 4.10. Gesimuleerde drogestofoename van de vruchten gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.
Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.



Figuur 4.11. Totale drogestofoename van de vruchten in relatie tot de gemiddelde temperatuur, gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd.
Zwart: normale teelt; **gesloten rondjes:** MT - EB; **open rondjes:** MTI + EB. **Lijnen:** lineaire fits.

Het patroon van de drogestofoename van het gehele gewas komt terug bij de drogestofoename van de vruchten (Figuur 4.10). De kleine verschillen tussen de drogestofoename van het gewas en van de vruchten zijn het gevolg van een andere drogestofverdeling (zie paragraaf 4.3.8).

Er is een licht effect van de het al dan niet toepassen van energiebesparing in combinatie met MTI. Dit blijkt uit Figuur 4.11, waarin de drogestofoename van de vruchten wordt gerelateerd aan de gemiddelde seizoenstempe-

ratuur. In de winter is het effect het sterkste: bij een gemiddelde temperatuur van 19°C is het verschil 17 g m⁻² in het voordeel van MTI – EB. Kennelijk werkt het energieoptimaliserend algoritme in de winter in het nadeel van de drogestofgroei van de vruchten.

Verder is er een opvallend verschil in de richtingscoëfficiënten van de lineaire fits. Deze zijn voor de winter- en de herfstteelten negatief: een hogere gemiddelde temperatuur resulteert in een lagere totale drogestofproductie. Voor de zomerteelt is deze echter positief: een hogere gemiddelde temperatuur resulteert juist in een hogere totale drogestofproductie. In de winter en in de herfst wordt de daling veroorzaakt door de steeds groter wordende onderhoudsademhaling bij stijgende temperatuur. In de zomer neemt de onderhoudsademhaling uiteraard ook toe, maar is dan ten opzichte van de totale groei relatief klein. In de zomer zijn de lichtniveaus relatief hoog, die bij hogere temperaturen beter gebruik worden dan de relatief lage niveaus in de winter en herfst. In de zomer nemen de totale groei en de vruchtgroei zodoende toe bij stijgende temperatuur (zie bijv. Dieleman *et al.*, 2003).

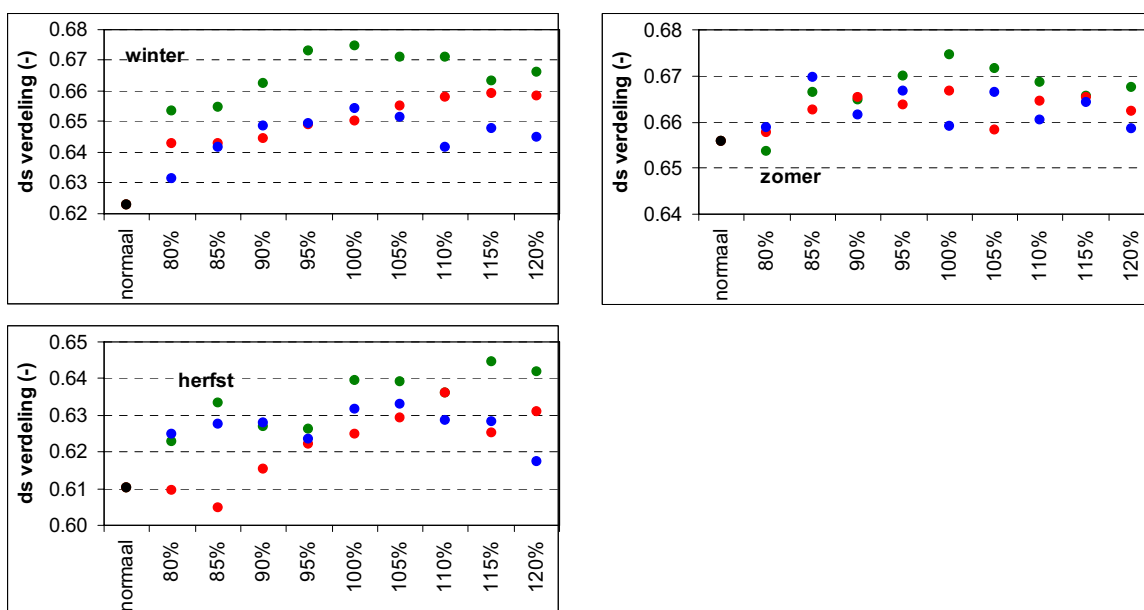
4.3.8 Drogestofverdeling en plantbelasting

De drogestofverdeling levert interessante simulatieresultaten. In bijna alle gevallen verbetert de drogestofverdeling naar de vruchten als gevolg van het stabiliseren van de assimilatenbalans. Dit is ook in eerdere studies gevonden (bijvoorbeeld Marcelis, 1994) en is een belangrijke aanleiding geweest voor het project.

Als geen rekening wordt gehouden met de beperkingen van de klimaatregeling (MTI-Gewas) neemt in de winter de drogestofverdeling naar de vruchten toe van 0.643 voor een normale teelt naar maximaal 0.671, in de zomer van 0.665 naar maximaal 0.678, en in de herfst van 0.624 naar maximaal 0.645.

Als wel rekening wordt gehouden met de beperkingen die door de klimaatregeling worden opgelegd, wordt de drogestofverdeling naar de vruchten lager dan wanneer er wel rekening mee wordt gehouden. De andere temperaturen leiden tot andere assimilatenvragen van de diverse organen, wat vervolgens tot een andere drogestofverdeling leidt. De drogestofverdeling in de meeste gevallen nog steeds beter dan in het geval van een normale teelt

In het geval van MTI + EB wordt in de winter en de zomer de beste drogestofverdeling naar de vruchten bereikt door de 100%-lijn na te streven (Figuur 4.12). In de herfst moet de 115%-lijn worden nagestreefd.



Figuur 4.12. Gesimuleerde drogestofverdeling naar de vruchten gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.

Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB

De fractie drogestof die naar de vruchten wordt verdeeld begint heel laag, om na enige tijd sterk toe te nemen tot een waarde die rond de 0.7 fluctueert (zie bijvoorbeeld Figuur 3.1). Om de stabiliteit van de drogestofverdeling te beoordelen kan het beste worden gekeken naar de fluctuaties vanaf het moment dat de sterke toename is gepasseerd. In de winter is dit na 70 dagen, in de zomer na 30 dagen, en in de herfst na 20 dagen na planten. Dit is gedaan in Tabel 4.1 en Figuur 4.13, waarin ook de gesimuleerde waarden zijn gegeven voor de plantbelasting, omdat dit zeer bepalend is voor de drogestofverdeling.

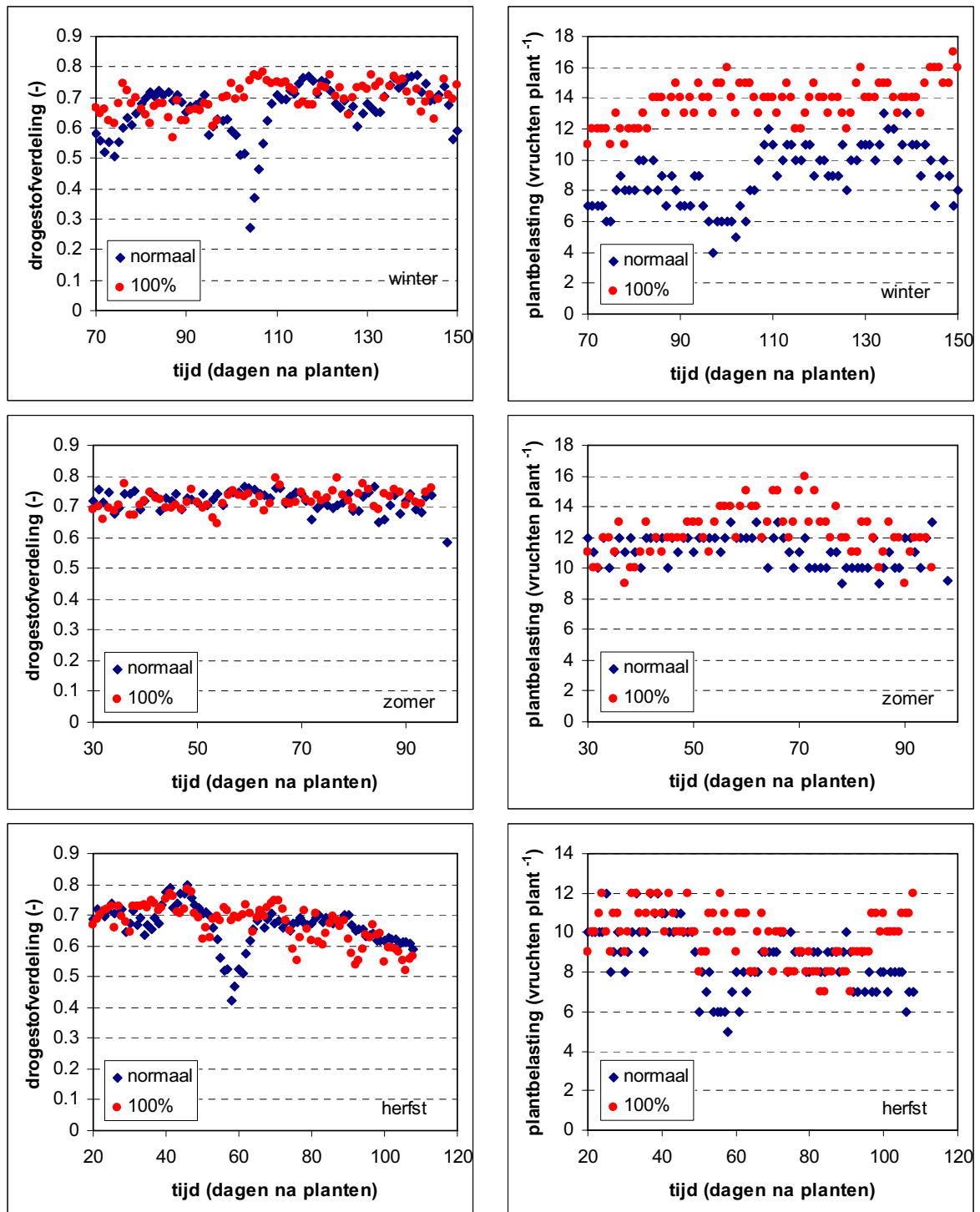
Het blijkt dat grote fluctuaties in de drogestofverdeling en het aantal vruchten per plant (plantbelasting) worden weggenomen als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd. Dit is een zeer belangrijk gegeven voor tuinders, die op deze manier een stabielere productie kunnen realiseren. Kleine fluctuaties blijven bestaan, maar het belang hiervan is navenant kleiner. In het gehanteerde rekenvoorbeeld betekent dit dat de drogestofverdeling en de plantbelasting in de winter en de herfst stabiel(er) (lagere CV) als de assimilatenbalans in combinatie met energiebesparing wordt gestabiliseerd worden. In de zomer is dit niet het geval, omdat er bij de normale teelt geen grote fluctuaties optreden.

Hiermee wordt dus een belangrijk gegeven aangetoond, namelijk dat door vanuit het gewas te redeneren en hierop de temperatuurregeling te baseren, ervoor kan worden gezorgd dat fysiologische processen worden gestabiliseerd.

Tot slot kan worden opgemerkt dat de plantbelasting door het stabiliseren van de assimilatenbalans toeneemt bij het nastreven van trendlijnen van 90% en hoger, zonder dat dit tot meer geogoste vruchten leidt. De lagere temperaturen die bij hogere trendlijnen worden gerealiseerd, leiden er toe dat de vruchten minder snel afrijpen en langer aan de plant hangen, waardoor het aantal vruchten per plant toeneemt.

Tabel 4.1. Absolute waarden en variatiecoëfficiënten van de gesimuleerde fractie drogestof die naar de vruchten wordt verdeeld (-) en de gesimuleerde plantbelasting (aantal vruchten plant⁻¹) vanaf het moment dat de aanloopfase voorbij is. In de winter is dit na 70 dagen, in de zomer na 30 dagen, en in de herfst na 20 dagen na planten. Gegeven zijn de gesimuleerde waarden voor een normale teelt en voor teelten waarbij de assimilatenbalans op diverse niveaus is gestabiliseerd. Verbeteringen ten opzichte van de normale teelt zijn in **rood** weergegeven.

		Drogestofverdeling naar de vruchten (-)						Plantbelasting (vruchten plant ⁻¹)					
		gemiddelde						gemiddelde					
		Ref.	80%	90%	100%	110%	120%	Ref.	80%	90%	100%	110%	120%
winter	MTI - Gewas	0.66	0.67	0.68	0.70	0.70	0.70	8.93	8.37	9.62	11.98	13.51	14.95
	MTI - EB	0.66	0.67	0.67	0.68	0.69	0.70	8.93	8.11	9.11	10.26	12.70	14.19
	MTI + EB	0.66	0.67	0.69	0.70	0.69	0.70	8.93	9.22	11.17	13.79	14.40	15.27
zomer	MTI - Gewas	0.72	0.72	0.73	0.74	0.73	0.73	11.2	9.76	10.80	12.80	13.80	15.82
	MTI - EB	0.72	0.71	0.72	0.72	0.72	0.72	11.2	9.09	9.97	11.08	12.18	13.06
	MTI + EB	0.72	0.73	0.72	0.72	0.73	0.73	11.2	10.5	11.02	12.30	13.35	13.74
herfst	MTI - Gewas	0.67	0.65	0.66	0.68	0.68	0.71	8.67	7.67	8.26	9.69	10.62	13.51
	MTI - EB	0.67	0.63	0.65	0.66	0.68	0.68	8.67	6.73	7.18	8.75	9.47	10.43
	MTI + EB	0.67	0.66	0.67	0.67	0.68	0.67	8.67	7.98	8.90	9.83	10.99	11.02
		CV						CV					
		Ref.	80%	90%	100%	110%	120%	Ref.	80%	90%	100%	110%	120%
		winter	MTI - Gewas	13.7	9.9	9.4	8.0	6.7	6.2	21.9	15.5	12.6	11.0
MTI - EB	13.7		10.5	9.1	9.2	8.5	7.6	21.9	15.4	14.8	12.1	12.0	12.2
MTI + EB	13.7		8.6	7.6	6.8	7.4	8.5	21.9	12.0	11.1	9.4	10.1	11.2
zomer	MTI - Gewas	3.9	5.9	6.3	6.8	6.6	5.8	9.2	11.7	8.5	10.7	11.4	16.1
	MTI - EB	3.9	6.2	7.0	5.5	5.4	6.5	9.2	13.1	11.1	10.4	11.1	13.6
	MTI + EB	3.9	6.0	5.3	4.3	6.2	5.3	9.2	8.9	10.3	12.3	13.0	13.2
herfst	MTI - Gewas	9.9	13.5	12.5	11.8	10.0	5.8	17.8	22.6	19.5	17.4	16.0	9.9
	MTI - EB	9.9	15.5	11.1	10.3	10.1	9.0	17.8	25.5	20.6	18.3	15.1	10.8
	MTI + EB	9.9	10.5	9.6	9.3	6.1	5.8	17.8	16.7	11.9	13.5	9.9	14.7

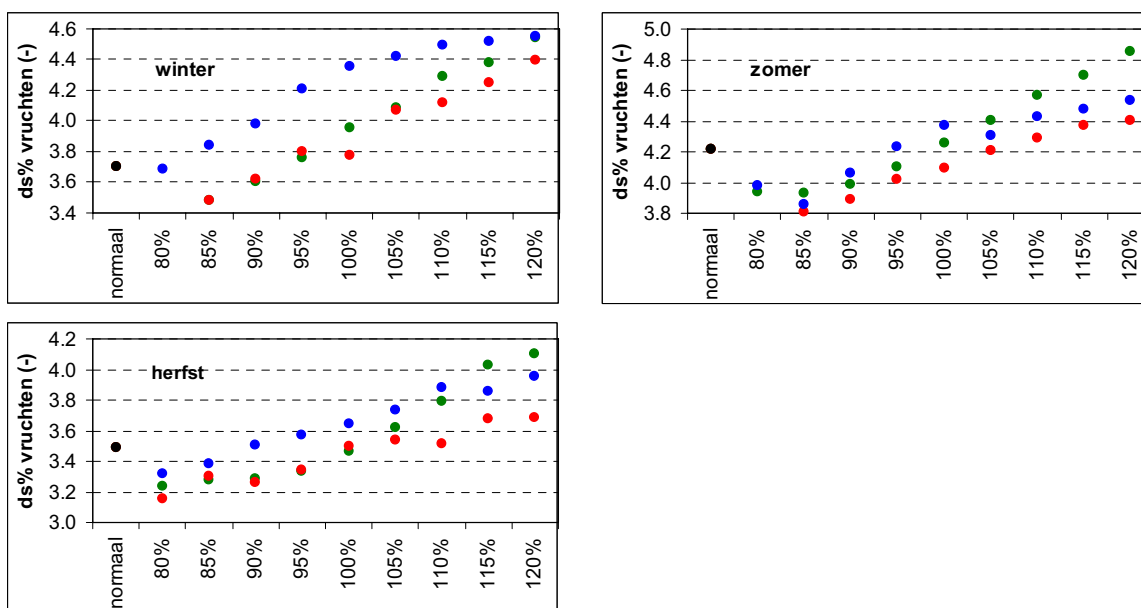


Figuur 4.13. Gesimuleerde fractie drogestof die naar de vruchten wordt verdeeld (-) en de plantbelasting (aantal vruchten plant⁻¹) vanaf het moment dat de aanloopfase voorbij is. Gegeven zijn de resultaten voor een normale teelt en een teelt waarbij de 100%-lijn voor de assimilatenbalans is nagestreefd (MTI + EB).

4.3.9 Drogestofpercentage vruchten

Zoals uiteengezet in paragraaf 2.1.3 bestaat er een verband tussen de kasttemperatuur en het drogestofpercentage van de vruchten: een lagere temperatuur heeft een hoger drogestofpercentage van de vruchten tot gevolg. De patronen van de drogestofpercentages van de vruchten (Figuur 4.14) zijn dan ook de inverses van de patronen van de temperaturen (Figuur 4.4). Een hogere nagestreefde assimilatenbalans wordt bereikt met een lagere temperatuur, wat een hoger drogestofpercentage van de vruchten tot gevolg heeft.

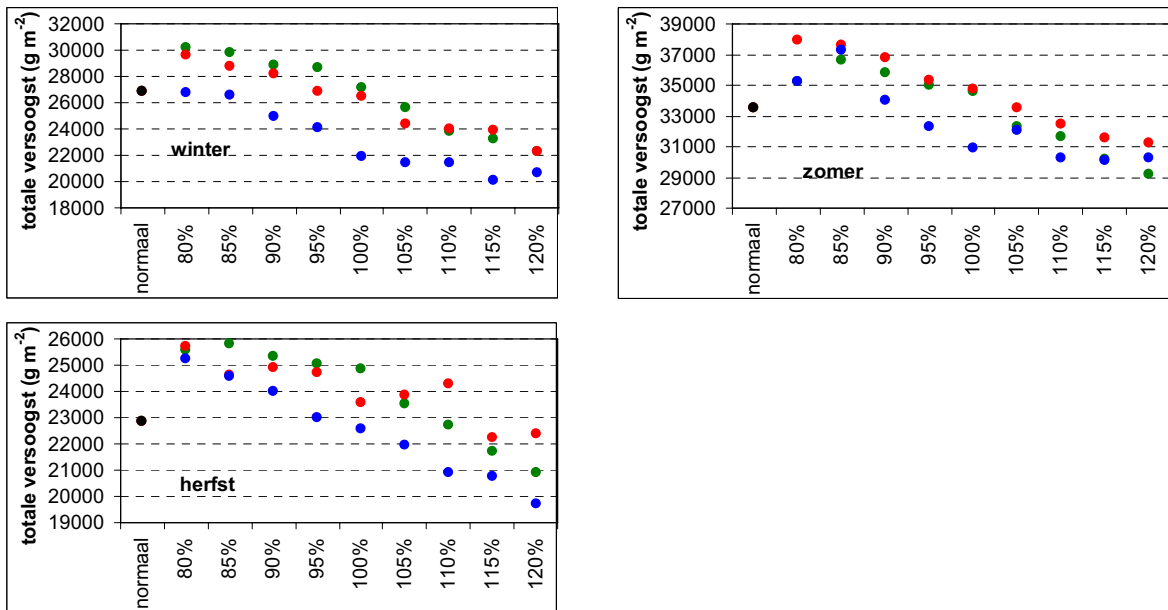
Een tuinder streeft naar een zo laag mogelijk drogestofgehalte, omdat hiermee de hoogste versproductie wordt gerealiseerd.



Figuur 4.14. Gesimuleerd drogestofpercentage van de geoogste vruchten gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen. **Zwart:** normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

4.3.10 Versproductie

De gevolgen van klimaatinstellingen voor de versproductie zijn voor de teler van groot belang. De versproductie is het gecombineerde effect van de drogestoftoename en het drogestofpercentage van de vruchten. De drogestoftoename van de vruchten wordt beïnvloed door de keuze van de nagestreefde assimilatenbalans, al vertoont deze relatief weinig variatie (paragraaf 4.3.7). Het drogestofpercentage van de vruchten wordt sterk beïnvloed door de temperatuur die nodig is om een bepaalde nagestreefde assimilatenbalans te realiseren. Een stijgend drogestofpercentage leidt tot een lagere versproductie, zoals uit Figuur 4.15 blijkt. Een versproductie die hoger is dan een normale versproductie wordt bij MTI + EB alleen bereikt bij het nastreven van relatief lage assimilatenbalansen, en dus relatief hoge temperaturen. Bij MTI - EB bestaat er meer speelruimte en kunnen ook bij assimilatenbalansen rond de 100%-lijn betere versproducties worden bereikt.



Figuur 4.15. Gesimuleerde vers oogst gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.

Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

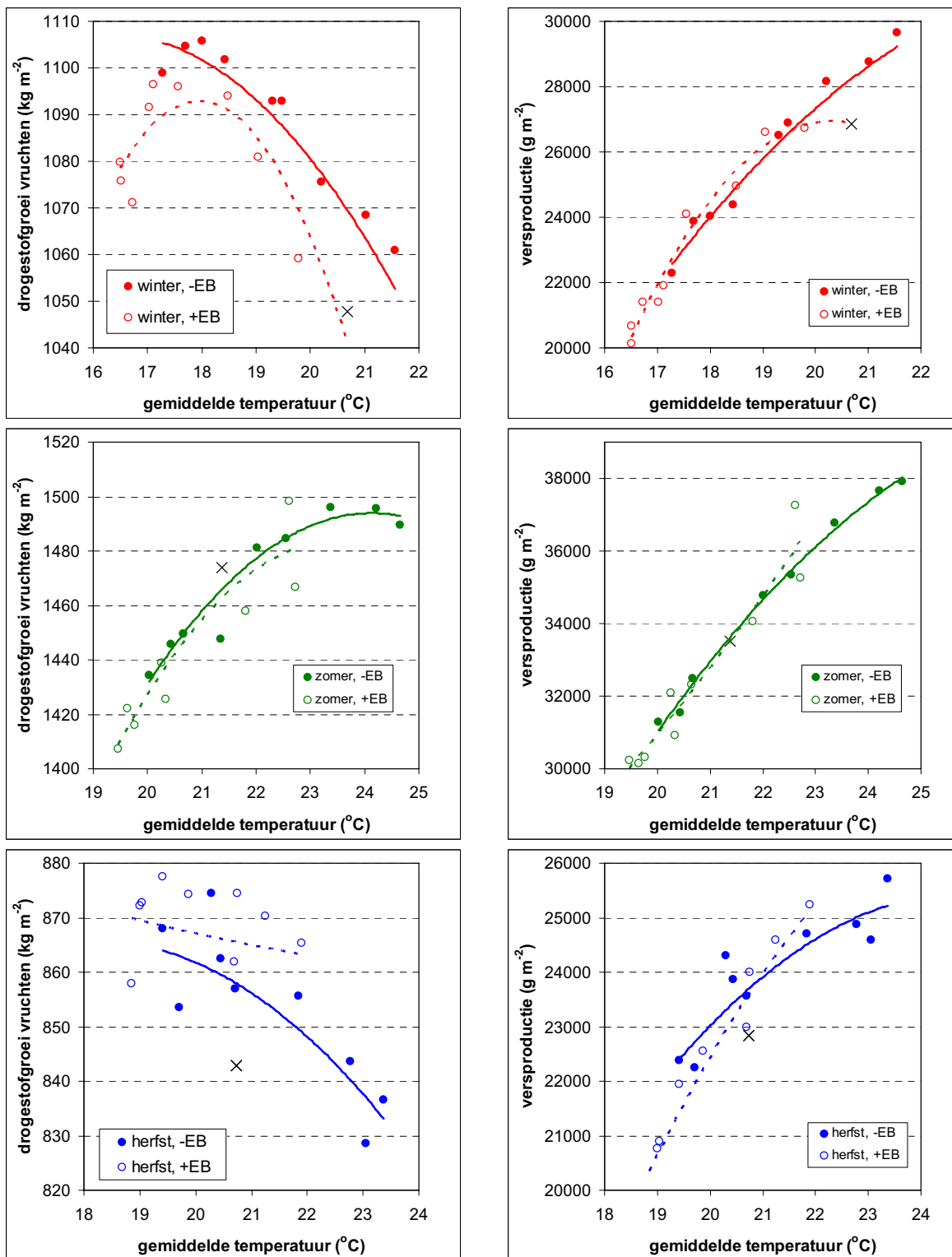
Versproductie, temperatuur en gasverbruik in de winter

Uit Figuur 4.16 (figuur linksboven) blijkt dat in de winter het stabiliseren van de assimilatenbalans in combinatie met energiebesparing (MTI + EB) leidt tot dezelfde droogproductie bij dezelfde gemiddelde temperatuur. Als het stabiliseren van de assimilatenbalans niet wordt gecombineerd met energiebesparing (MTI – EB), stijgt de droogproductie bij dezelfde gemiddelde temperatuur. Belangrijker voor de teler is de versproductie (Figuur 4.16, rechtsboven). De niet-lineaire fits voor MTI – EB en MTI + EB lopen in elkaar over. Als MTI wordt toegepast, kan de teler een ongeveer 1°C lagere gemiddelde temperatuur realiseren zonder dat de versproductie hieronder lijdt. De teler kan er ook voor kiezen om bij dezelfde temperatuur een ongeveer 1.3 kg m⁻² hogere versproductie realiseren (de lijnen in Figuur 4.15 geeft aan dat in dit geval gekozen moet worden voor de optie zonder energiebesparing).

In Figuur 4.17 is het verband tussen gasverbruik en versproductie uitgewerkt. De linkerfiguren geven per teelt een overzicht van alle berekende waarden, en de rechterfiguren geven een detailoverzicht van de berekende waarden rondom de waarde van de normale teelt. Energie kan worden bespaard door MTI toe te passen en te streven naar de 80-85% lijn in geval van MTI + EB, en te streven naar de 95-100% lijn in geval van MTI – EB. MTI + EB is iets zuiniger met energie dan MTI – EB, zodat de assimilatenbalans het beste kan worden gestabiliseerd in combinatie met energiebesparing. **Het gasverbruik kan in de winter op deze manier met 2.5 m³ m⁻² worden gereduceerd.**

De teler kan bij hetzelfde gasverbruik in de winter de versproductie verhogen door zonder energiebesparing de assimilatenbalans (al is het verschil met MTI + EB marginaal) te stabiliseren naar de 95-90% lijn. **De gesimuleerde versproductie stijgt in dit geval met ongeveer 1.3 kg m⁻².**

De hierboven genoemde gasbesparingen en productieverbeteringen zijn de maximaal haalbare veranderingen. Het hiernaar streven brengt een zeker risico met zich mee, omdat dan op het scherpst van de snede wordt geopereerd. In de illustraties (Figuur 4.17 rechts) kan het gevolgde horizontale pijltje naar links net iets naar beneden gaan afwijken, zodat de productie iets daalt bij verminderd gasverbruik. Ook kan het verticale pijltje naar boven net iets naar rechts gaan afwijken, zodat het gasverbruik toeneemt bij het streven naar productiestijging. Een **risicomidende aanpak** is om het pijltje dat naar linksboven wijst, te volgen. Dit combineert gasbesparing met productiestijging: 1.25 m³ m⁻² minder gas en een productiestijging van 0.65 kg m⁻².



Figuur 4.16. Totale drogestof- en versproductie in relatie tot de gemiddelde temperatuur, gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd.
X: normale teelt; **gesloten rondjes:** MTI - EB; **open rondjes:** MTI + EB.

Versproductie, temperatuur en gasverbruik in de zomer

De niet-lineaire verbanden tussen gemiddelde temperatuur en drogestofproductie van de vruchten voor MTI + EB en MTI – EB overlappen elkaar in de zomer. Hetzelfde geldt voor het de versproductie. Uit Figuur 4.16 blijkt dat met MTI de drogestof- en versproducties in de zomer niet kunnen worden verbeterd bij gelijkblijvende temperatuur. Alleen temperatuurstijging maakt dit mogelijk.

Het verband tussen gasverbruik en versproductie (Figuur 4.17) toont echter aan dat de versproductie wel stijgt bij hetzelfde gasverbruik als MTI wordt toegepast. Dit is het gevolg van het feit dat dezelfde gemiddelde temperatuur bij een lager gasverbruik kan worden gerealiseerd. Ook voor wat betreft het verband tussen gasverbruik en versproductie overlappen de verbanden voor MTI – EB en MTI + EB elkaar. De teler kan er voor kiezen om bij MTI + EB te streven naar de 90-95%-lijn om zonder productiederving **het gasverbruik met 1.5 m³ m² te reduceren**, of kan streven naar de 80%-lijn om bij gelijkblijvend gasverbruik een **stijging van de versproductie van 1.5 kg m²** te realiseren.

Een risicomijdende teler kan ervoor kiezen om 0.75 m³ m² minder gasverbruik te combineren met 0.75 kg m² extra versproductie.

Versproductie, temperatuur en gasverbruik in de herfst

In de herfst kan bij dezelfde gemiddelde temperatuur een grotere drogestofproductie worden bereikt door MTI toe te passen (Figuur 4.16). Combinatie met energiebesparing zorgt voor een extra stijging van de drogestofproductie. Ook de versproductie is ongeveer 0.9 kg m² hoger bij dezelfde gemiddelde temperatuur of hetzelfde gasverbruik als MTI wordt toegepast (Figuur 4.17). Ook is het mogelijk om dezelfde versproductie te realiseren bij een lagere gemiddelde temperatuur of een 1.5 m³ m² lager gasverbruik, als MTI wordt toegepast. De niet-lineaire verbanden tussen gasverbruik en versproductie (Figuur 4.17, rechtsonder) voor MTI – EB en MTI + EB overlappen elkaar in het relevante traject. In het geval van MTI + EB moet worden gestreefd naar de 90-100%-lijn.

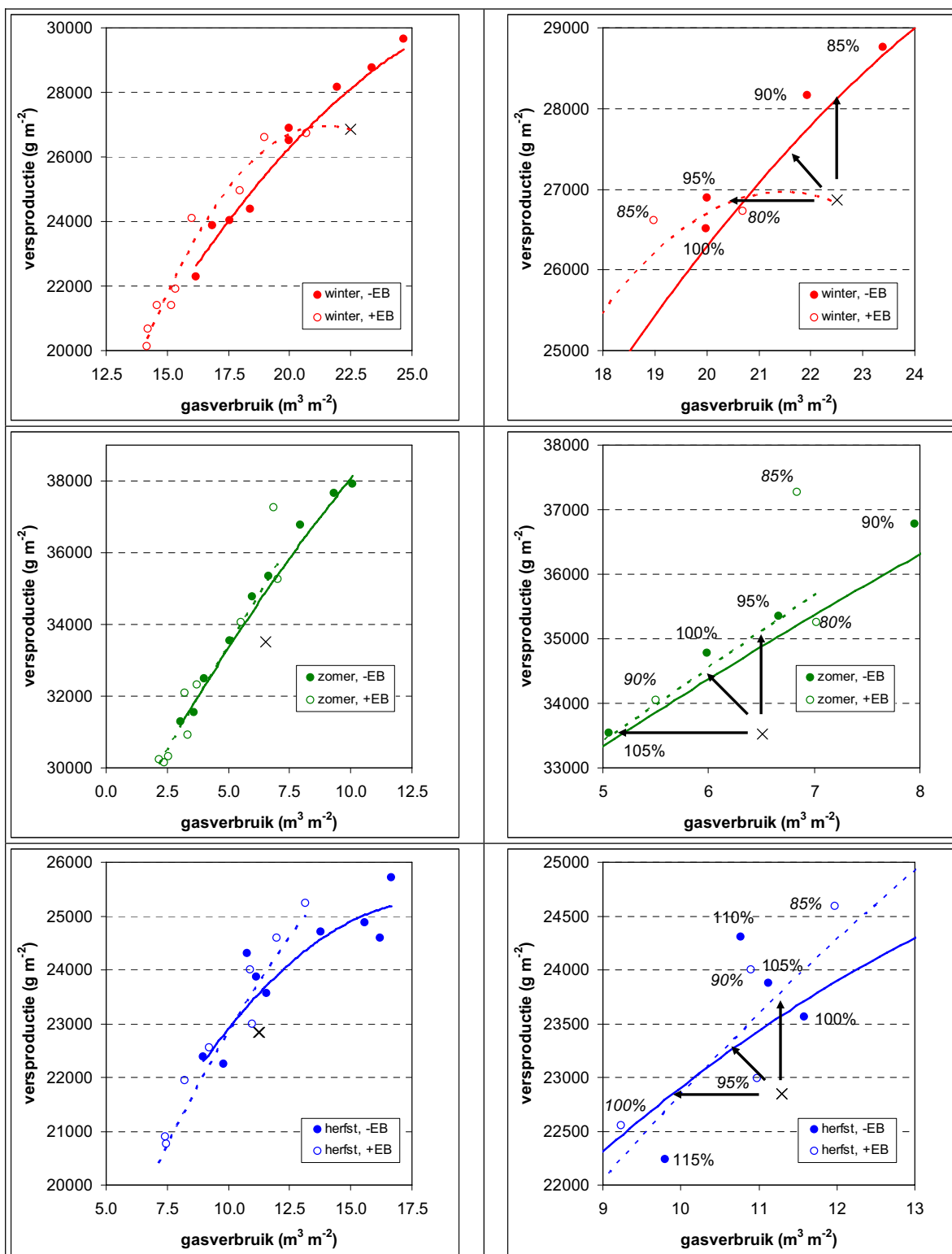
Een risicomijdende teler kan ervoor kiezen om 0.75 m³ m² minder gasverbruik te combineren met 0.45 kg m² extra versproductie.

Versproductie en gasverbruik in alle seizoenen

In Tabel 4.2 zijn de getalsmatige mogelijkheden samengevat.

Tabel 4.2. *Overzicht van berekende gasbesparing en versproductiestijging als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd.*

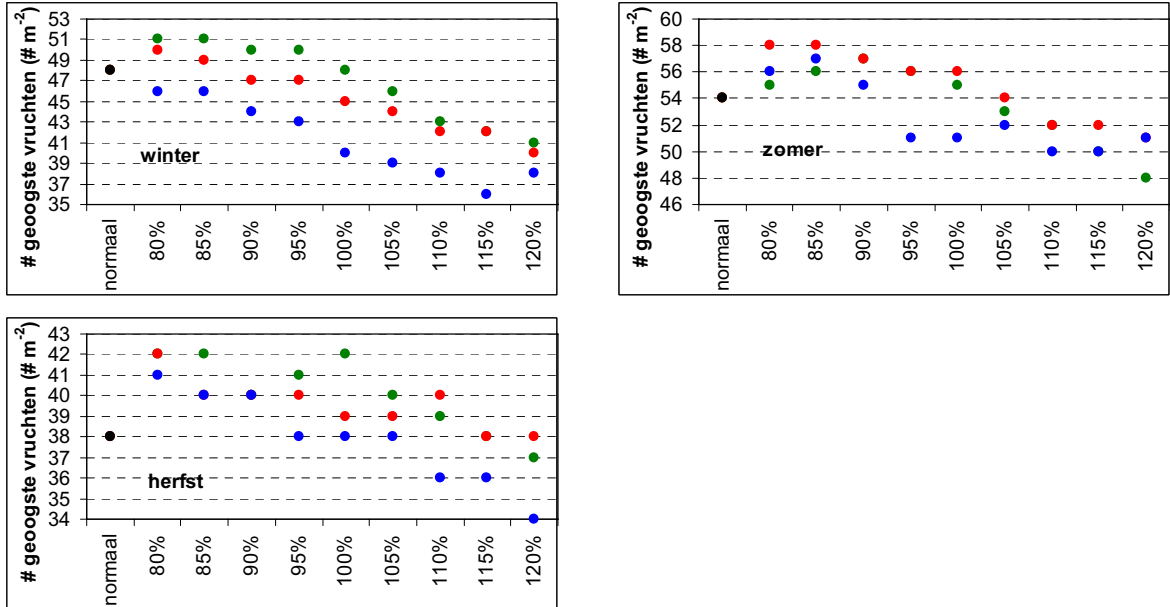
	Winter	Zomer	Herfst	Totaal
Referentie				
Gasverbruik (m ³ m ²)	22.5	6.5	11.3	40.3
Versproductie (kg m ²)	26.9	33.5	22.8	83.2
Doel				
Energiebesparing (m ³ m ²) (zonder productieverlies)	- 2.25 (10%)	- 1.5 (23%)	- 1.5 (13%)	- 5.25 (13%)
Hogere versproductie (kg m ²) (bij gelijk energieverbruik)	+ 1.5 (5.7%)	+ 1.9 (5.6%)	+ 1.0 (4.2%)	+ 4.4 (5.3%)
Verminderd risico:				
- energiebesparing (m ³ m ²)	- 1.1 (5%)	- 0.75 (12%)	- 0.75 (7%)	- 2.6 (7%)
- hogere versproductie (kg m ²)	+ 0.75 (3.4%)	+ 0.95 (3.3%)	+ 0.50 (2.1%)	+ 2.2 (2.1%)



Figuur 4.17. Totale versproductie in relatie tot het gasverbruik, gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Links: overzicht van alle berekende waarden; rechts: gedetailleerd overzicht. **X**: normale teelt; **gesloten rondjes**: MTI - EB; **open rondjes**: MTI + EB.

4.3.11 Aantal geoogste vruchten

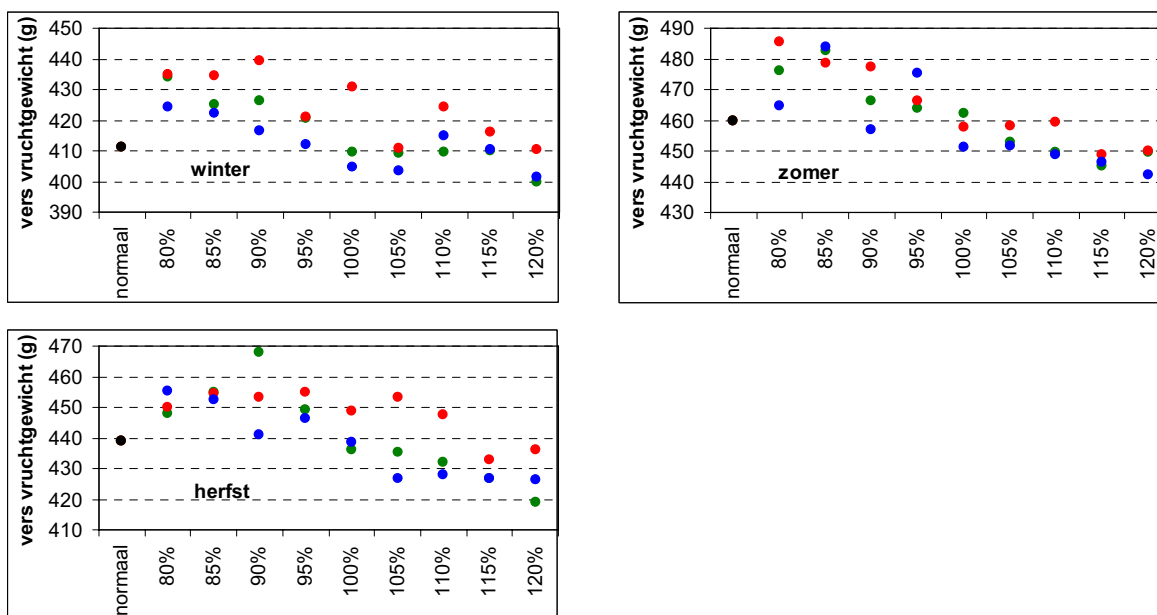
Als er een lage assimilatenbalans wordt nagestreefd, is het aantal geoogste vruchten hoger dan in het geval van een normale teelt. Naarmate de nagestreefde assimilatenbalans hoger is, en daarmee de temperatuur lager daalt het aantal geoogste vruchten. Dit is een gevolg van het feit dat de vruchten bij een lagere temperatuur langer nodig hebben om tot fysiologische rijpheid te komen en dus langer aan de plant hangen. MTI + EB resulteert in een lager aantal geoogste vruchten dan MTI - EB, wat eveneens een gevolg is van de lagere temperatuur.



Figuur 4.18. Gesimuleerde aantal vruchten gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.

Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

4.3.12 Vruchtgewicht



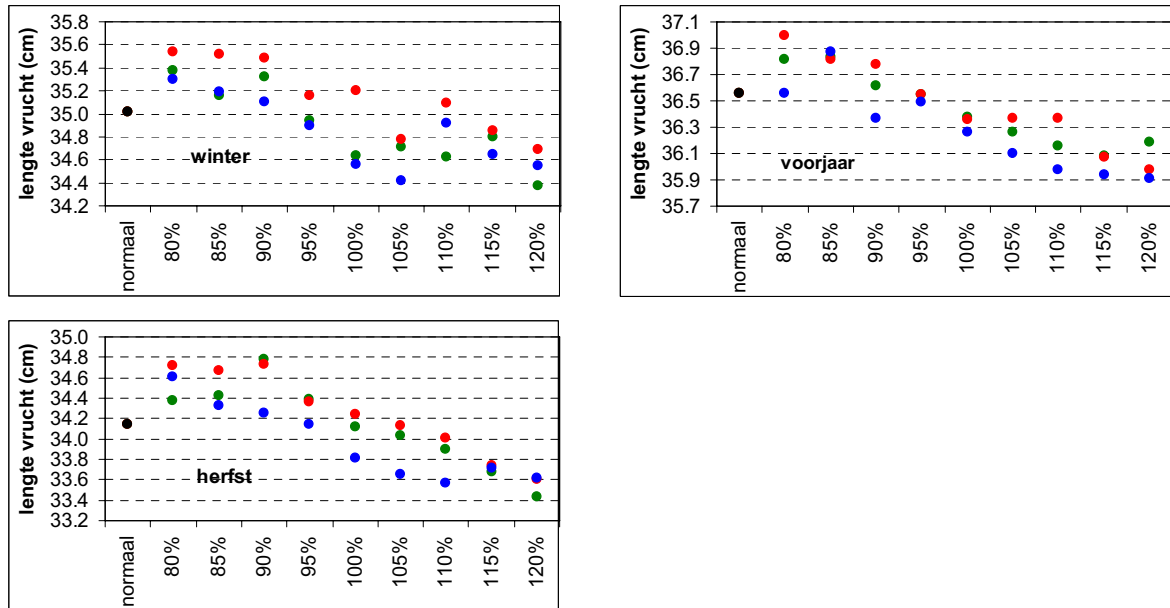
Figuur 4.19. Gesimuleerd gemiddeld vers vruchtgewicht gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.
Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

Het vruchtgewicht kan ten opzichte van een normale teelt worden vergroot door de assimilatenbalans te stabiliseren en naar de 100%-lijn of lager te streven (bij relatief hoge temperaturen). MTI + EB leidt hierbij tot kleinere vruchten dan MTI - EB.

Het oogstgewicht van een verse vrucht daalt naarmate een hogere assimilatenbalans wordt nagestreefd.

4.3.13 Vruchtlengthe

Het effect van de nagestreefde assimilatenbalans op de vruchtlengthe is vergelijkbaar met het effect ervan op het vruchtgewicht. Een relatief lage nagestreefde assimilatenbalans geeft een relatief hoge temperatuur, wat leidt tot langere vruchten. Er kunnen langere vruchten worden geoogst dan bij een normale teelt als naar de 95%-lijn of lager wordt gestreefd.



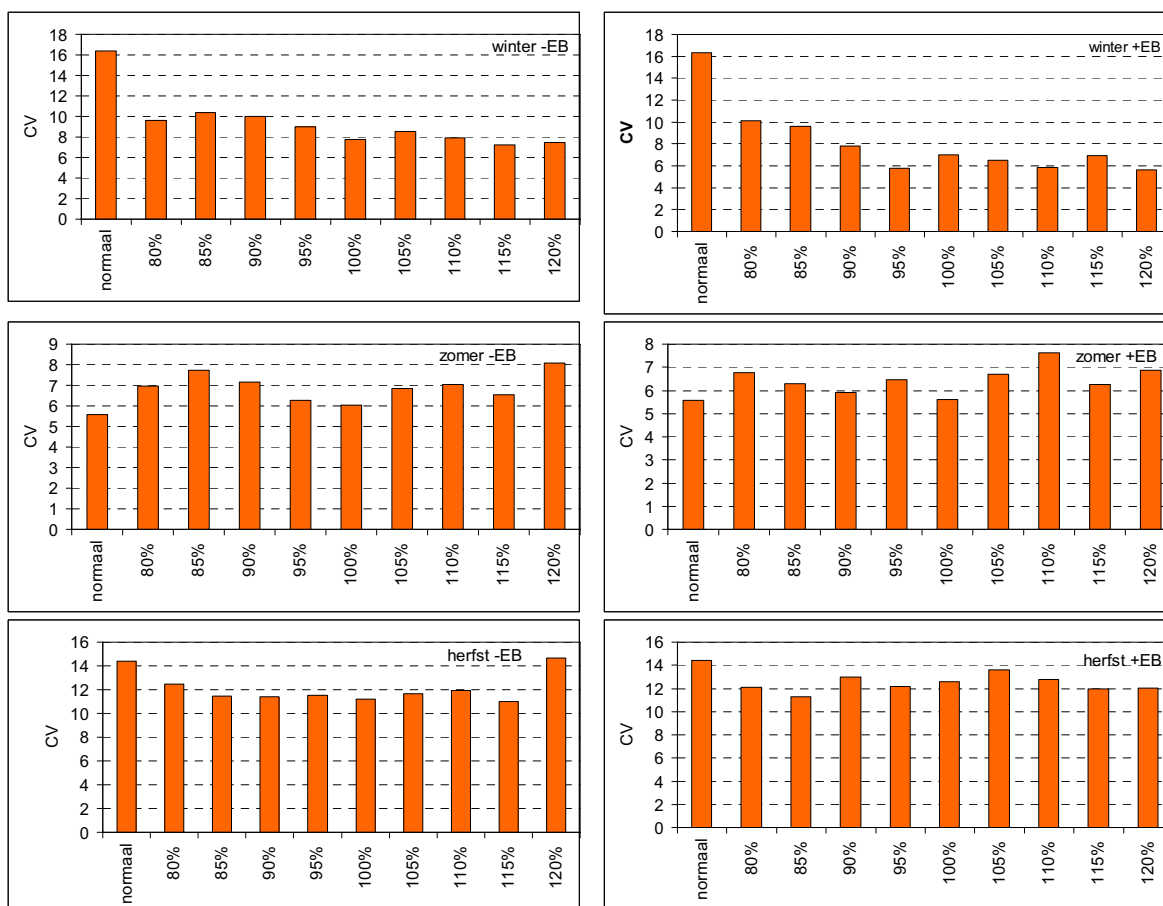
Figuur 4.20. Gesimuleerde gemiddeld vruchtlengte gedurende drie praktijkteelten, als verschillende assimilatenbalansen worden nagestreefd. Op de x-as staan de diverse streeflijnen.
Zwart: normale teelt; **groen:** MTI - Gewas; **rood:** MTI - EB; **blauw:** MTI + EB.

4.3.14 Stabiliteit

Een hypothese van het project was dat het stabiliseren van de assimilatenbalans ook stabiliserend zou werken op een aantal vruchteigenschappen, met name vruchtgewicht, vruchtlengte, en vruchtleefijd. De variatiecoëfficiënt van deze waarden voor de drie teelten bij MTI – EB en MTI + EB zijn gegeven in Figuren 4.19, 4.20 en 4.21. Bij de verkennende berekeningen (die overeenkomen met MTI - Gewas) bleek dat in veel gevallen de stabiliteit van de vruchteigenschappen als gevolg van het stabiliseren van de assimilatenbalans toenam. Dit is slechts voor een deel het geval als rekening wordt gehouden met de beperkingen van de klimaatregeling.

Ten opzichte van de situatie bij een normale teelt is de fysiologische vruchtleefijd duidelijk stabiel in de winter als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd (Figuur 4.21). In de herfst is dit in beperkte mate het geval, en in de zomer is het niet het geval.

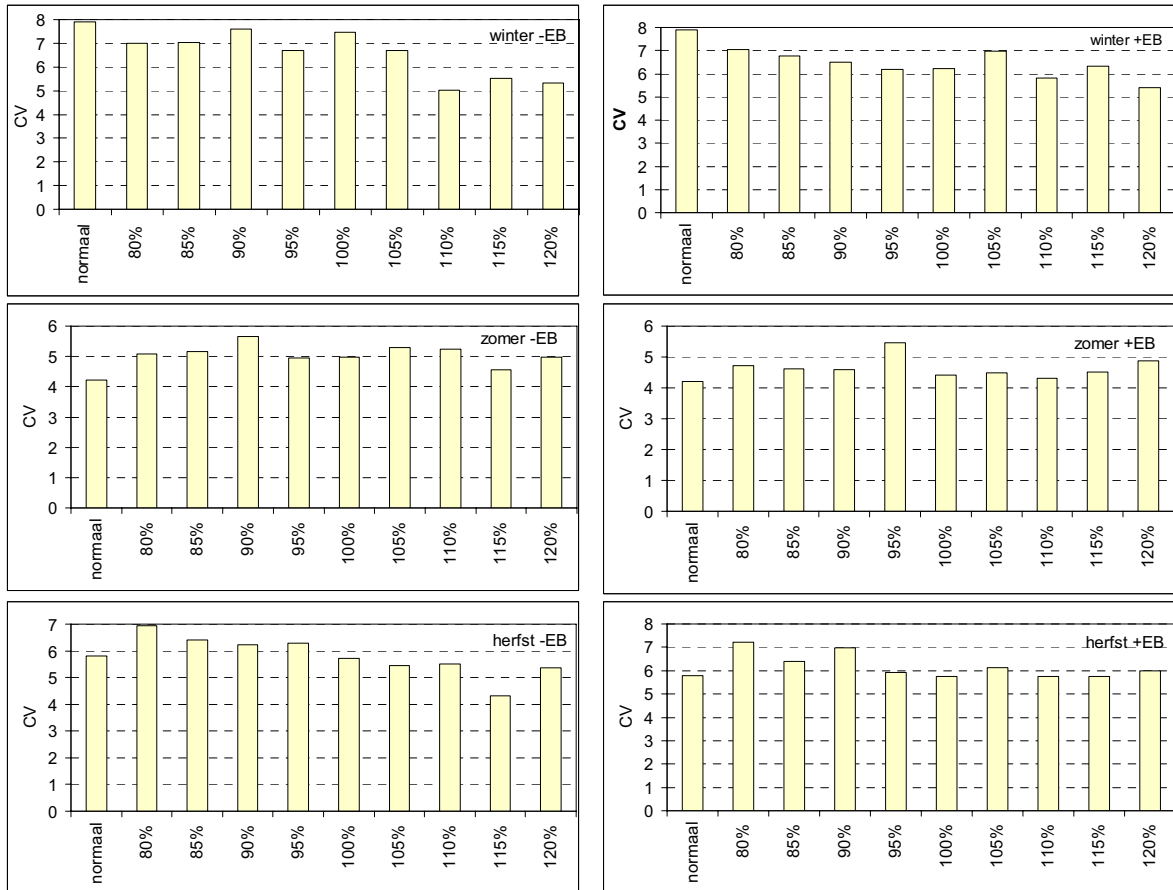
De vruchtlengte wordt in de winter enigszins gestabiliseerd (Figuur 4.22). In de zomer vindt dit niet plaats, en in de herfst is een zeer beperkt aantal gevallen.



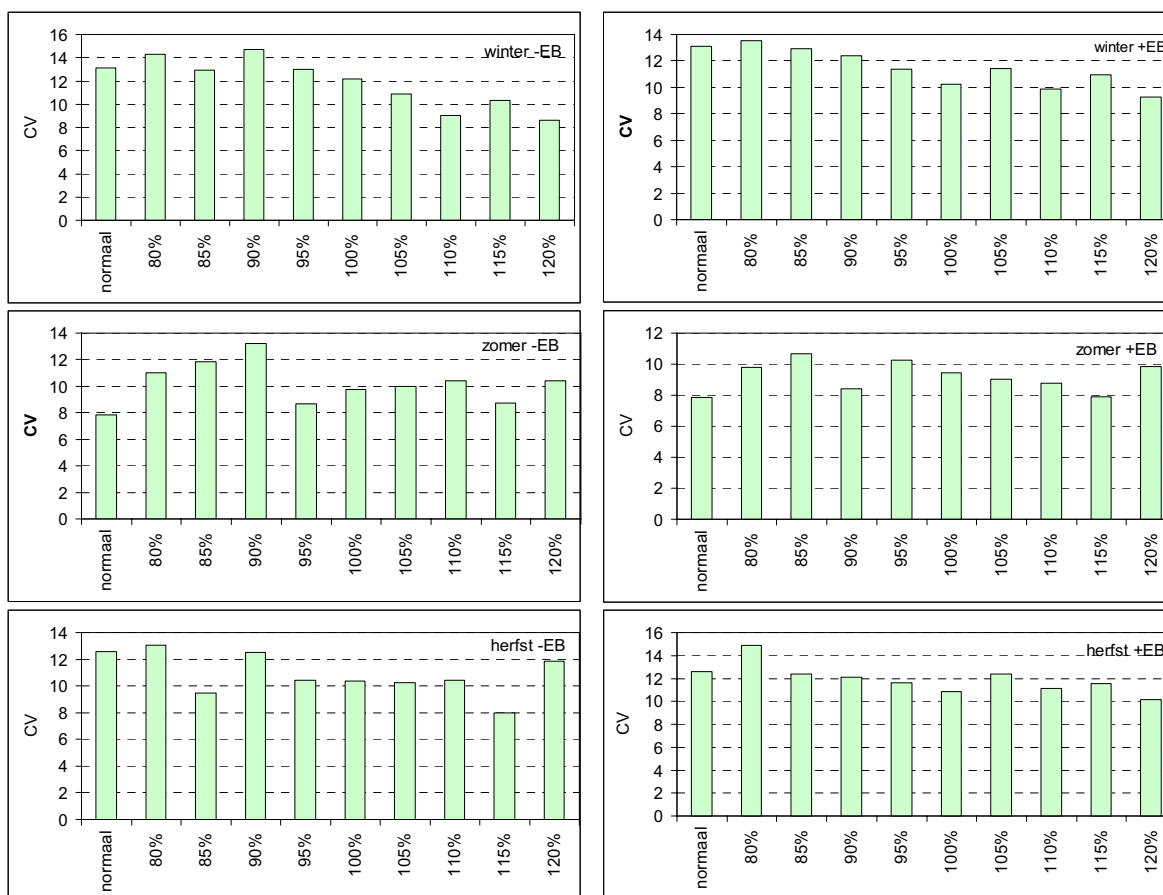
Figuur 4.21. De variatiecoëfficiënt van de fysiologische vruchtleeftijd. De gegevens zijn gebaseerd op gesimuleerde waarden voor de drie teelten, en voor MTI – EB en MTI + EB.

Het vers vruchtgewicht wordt in de winter in een groot aantal gevallen gestabiliseerd, met name als de assimilatenbalans naar een relatief hoge waarde wordt gestabiliseerd. In de zomer vindt dit niet plaats, en in de herfst in een aantal gevallen.

De conclusie is dat vruchteigenschappen in de winter het best worden gestabiliseerd; vrucht lengte en vers vruchtgewicht met name als de assimilatenbalans naar een relatief hoge waarde worden gestabiliseerd. In de zomer vindt geen stabilisatie van de vruchteigenschappen plaats, maar in de herfst kan een lichte stabilisatie worden bereikt.



Figuur 4.22. De variatiecoëfficiënt van de vrucht lengte. De gegevens zijn gebaseerd op gesimuleerde waarden voor de drie teelten, en voor MTI – EB en MTI + EB.



Figuur 4.23. De variatiecoëfficiënt van het vers vruchtgewicht. De gegevens zijn gebaseerd op gesimuleerde waarden voor de drie teelten, en voor MTI – EB en MTI + EB.

4.3.15 Samenvatting

Door de beperkingen van het kasklimaat wordt de assimilatenbalans bij MTI – EB en MTI +EB minder goed bereikt dat bij MTI – Gewas (Figuur 4.5). MTI + EB resulteert in een 1-2° C lagere gemiddelde seizoenstemperatuur dan MTI – EB (Figuur 4.4). Het nastreven van een hogere assimilatenbalans, dus het nastreven van een lagere assimilatenvraag door de vruchten, lukt alleen als de temperatuur wordt verlaagd. Een gemiddelde temperatuur die lager is dan de gemiddelde temperatuur van een normale teelt is bij MTI – EB en MTI + EB mogelijk als er lijnen worden nagestreefd die boven 90-100% liggen, afhankelijk van het seizoen.

MTI + EB zorgt ten opzichte van MTI – EB voor ongeveer 4 m³ m² minder gasverbruik in de winter en de herfst, en voor ongeveer 2 m³ m² minder gasverbruik in de zomer (Figuur 4.6). Op seizoensbasis is dit een besparing van 10 m³ m². Het gasverbruik wordt sterk beïnvloed door de teelttemperatuur, en het verband tussen deze twee is lineair (Figuur 4.7). Het blijkt dat dit verband in de winter en in de zomer niet of nauwelijks wordt beïnvloed door het al dan niet besparen van energie. Het blijft natuurlijk wel zo dat bij MTI + EB de temperatuur op zich, en daarmee het gasverbruik wel naar beneden gaat. In de herfst is op seizoensbasis het verband tussen temperatuur en gasverbruik echter wel afhankelijk van het al dan niet besparen van energie. Bij MTI + EB neemt het gasverbruik niet alleen af omdat de temperatuur daalt, maar daalt het gasverbruik ook nog eens extra omdat het algehele niveau van de relatie daalt. De herfst is dan ook het enige seizoen waar ten opzichte van een normale teelt het gasverbruik bij een bepaalde temperatuur door MTI wordt gereduceerd.

Het verband tussen fotosynthese en temperatuur is niet bijzonder sterk in het traject van gebruikelijke temperaturen (Figuur 4.8). De lichte daling van de fotosynthese is eerder te wijten aan een dalende CO₂-concentratie dan aan een dalende temperatuur. De drogestoftoename van het gehele gewas is de resultante van de bruto fotosynthese en de onderhoudsademhaling. Dit leidt er toe dat bij dalende temperatuur en dalende onderhoudsademhaling de drogestoftoename stijgt (Figuur 4.9). Bij verder dalende temperatuur veroorzaakt de dalende CO₂-concentratie een dalende drogestoftoename.

Het patroon van de drogestoftoename van het gewas keert terug bij de drogestoftoename van de vruchten (Figuur 4.10). Als de drogestoftoename van de vruchten wordt gekoppeld aan de gemiddelde seizoenstemperatuur, dan blijkt er geen effect van het al dan niet toepassen van energiebesparing in combinatie met MTI (Figuur 4.11). Met andere woorden: een andere drogestoftoename van de vruchten moet volledig worden bereikt door het temperatuureffect. Er is geen additioneel effect. Als alleen rekening wordt gehouden met het gewas, en niet met de kas, verbetert in bijna alle gevallen de drogestofverdeling naar de vruchten (Figuur 4.12). Dit is ook in eerdere studies gevonden en is een belangrijke aanleiding geweest voor het project. Het rekening houden met de beperkingen van het kasklimaat leidt er toe dat de drogestofverdeling naar de vruchten lager is dan wanneer alleen van het gewas wordt uitgegaan. Desalniettemin kan ten opzichte van een normale teelt in de winter en in de herfst een betere drogestofverdeling worden gerealiseerd, als een hoge assimilatenbalans en dus relatief lage temperaturen worden nagestreefd.

Daarnaast blijkt dat grote fluctuaties in de drogestofverdeling en het aantal vruchten per plant worden weggenomen als de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd (Tabel 4.1).

Er bestaat een verband tussen de kastemperatuur en het drogestofpercentage van de vruchten: een lagere temperatuur heeft een hoger drogestofpercentage van de vruchten tot gevolg. Een hogere nagestreefde assimilatenbalans wordt bereikt met een lagere temperatuur, wat een hoger drogestofpercentage van de vruchten tot gevolg heeft (Figuur 4.14). De versooogst is het gecombineerde effect van de drogestoftoename van de vruchten, welke weinig variatie vertoont, en het drogestofpercentage van de vruchten, welke sterk wordt beïnvloed door de temperatuur. Een versproductie die hoger is dan een normale versproductie wordt bij MTI + EB alleen bereikt bij het nastreven van relatief lage assimilatenbalansen, en relatief hoge temperaturen (Figuur 4.15). Bij MTI - EB is bestaat er meer speelruimte en kunnen ook bij assimilatenbalansen rond de 100%-lijn betere versproducties worden bereikt.

De berekeningen geven aan (Figuur 4.17) dat in de winter bij eenzelfde energieverbruik **de productie kan stijgen** van ongeveer 27 kg m² naar ongeveer 28,5 kg m², of dat bij een gelijke productie **het gasverbruik afneemt** van ongeveer 22,5 m³ m² naar ongeveer 20,3 m³ m². In de zomer kan bij eenzelfde gasverbruik de productie stijgen van 33,5 kg m² naar 35,4 kg m², of kan bij eenzelfde productie het gasverbruik dalen van 6,5 m³ m² naar 5 m³ m². In de herfst kan bij eenzelfde gasverbruik de productie stijgen van 23 kg m² naar 24 m², of kan bij eenzelfde productie het gasverbruik dalen van 11,5 m³ m² naar 10 m³ m². Dit zijn aanzienlijke besparingen.

Op jaarbasis betekent dit een productiestijging van ongeveer 4,4 kg m² (5%), of een afname van het gasverbruik van ongeveer 5,25 m³ m² (13%).

Als een relatief lage assimilatenbalans wordt nagestreefd, nemen het aantal ge oogste vruchten (Figuur 4.18), het oogstgewicht van een vrucht (Figuur 4.19) en de vruchtlengte toe (Figuur 4.20). Vruchteigenschappen worden in de winter het best gestabiliseerd; vruchtlengte en vers vruchtgewicht met name als de assimilatenbalans naar een relatief hoge waarde worden gestabiliseerd. In het voorjaar vindt geen stabilisatie van de vruchteigenschappen plaats, maar in de herfst kan een lichte stabilisatie worden bereikt.

5. Doelstellingen

Aan het begin van het project zijn een aantal doelstellingen geformuleerd. In het onderstaande overzicht wordt beantwoord op welke wijze hieraan is voldaan.

Type doelstelling	Doelstelling	Resultaat / Haalbaarheid
Technisch	Het specificeren van de meest geschikte gewas-kenmerk(en) waarmee de verhouding tussen assimilatenaanbod en -vraag gestuurd kan worden.	De potentiële groei van vruchten en vegetatieve delen (dus de gehele plant) is de beste maat.
	Het vaststellen van het gewenste patroon van assimilatenaanbod en -vraag.	Per seizoen is er een optimaal patroon gedefinieerd.
	Het bepalen van de effecten van klimaat- en teeltfactoren (naast temperatuur, ook straling, CO ₂ en luchtvochtigheid) op de assimilatenbalans. Hierbij wordt aandacht besteed aan de mate waarin bijvoorbeeld temperatuur en straling vergelijkbare effecten op het gewas hebben.	Alleen het teeltseizoen, en in mindere mate plantdatum, is van invloed op de lange-termijn trend van de assimilatenbalans. Zowel variatie in straling als temperatuur leiden niet tot sterk andere trends van de assimilatenbalans.
	Nagaan welk type model het meest geschikt is voor meerdaagse temperatuurregeling op basis van de assimilatenbalans: een compleet gewasmodel of een afgeleid eenvoudig model.	Het complete INTKAM komkommermodel.
	De koppeling van gewas- en kasmodel om optimalisering van een regelstrategie mogelijk te maken. Optimalisering zal plaatsvinden vanuit zowel het perspectief van energiebesparing als vanuit dat van de productie.	De koppeling en optimalisering zijn tot stand gebracht.
	De ontwikkeling van een meerdaags regelmodel voor meerdaagse temperatuurregeling, dat door de praktijk hanteerbaar is.	Het regelmodel is gerealiseerd, en kan in de praktijk worden ingezet.
Energie	Reductie van het primaire energiegebruik met 5% (2.25 m ³ m ² jaar ⁻¹) door toepassing van een flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans, ten opzichte van temperatuurintegratie binnen een dag. Bij een jaarlijks gasverbruik van 45 m ³ per netto m ² , bij 700 ha komkommerteelt, betekent dit 1.6 x 10 ⁷ m ³ jaar reductie gasgebruik.	Op jaarbasis is een productiestijging van ongeveer 4,4 kg m ⁻² (5,3%) berekend, of een afname van het gasverbruik van ongeveer 5,25 m ³ m ⁻² (13%).
Neven	Door het realiseren een regelmatigere oogst het verbeteren van de stuurbaarheid van de komkommerketen en het verminderen van het bedrijfsrisico voor de teler.	Een aantal vruchteigenschappen stabiliseert zich.

6. Discussie

Temperatuur en energie

Op een Nederlands komkommerbedrijf wordt op jaarbasis ongeveer $45 \text{ m}^3 \text{ m}^2$ gas verstoekt (Van Woerden *et al.*, 2001). Er bestaat in de kasteelt een nauw verband tussen het gasverbruik en de kasttemperatuur. Een belangrijk middel om de GLAM-energiedoelstelling te behalen is dus door de kasttemperatuur te reduceren, of door met een lager gasverbruik de temperatuur anders over de tijd te verdelen zonder dat dit ten koste gaat van de gewasproductie.

Gebruikmaken van de temperatuur: temperatuurintegratie

Er is al veel theoretisch en praktisch werk verricht aan energiebesparing door middel van temperatuursturing. Temperatuurintegratie is hiervan een goed voorbeeld. Temperatuurintegratie verdeelt de energiebesteding over een tijdsduur van een tot enkele dagen dusdanig dat deze lager is zonder dat de gemiddelde temperatuur afwijkt. In de eenvoudigste vorm wordt er 's nachts minder en overdag meer gestookt. Rijdsdijk & Vogezang (2000) experimenteerden uitgebreid met potplanten, roos en paprika, waarbij ze 24-uurs temperatuurintegratie toepasten. Bij een bandbreedte van 4°C werd een energiebesparing van 8% bereikt, en bij een bandbreedte van 8°C een energiebesparing van 18%. Van den Berg *et al.* (2001) realiseerden bij komkommer een energiebesparing van 20%. De Braak & De Zwart (2001) berekenden in algemene zin bij stijgende temperatuur een stijgende besparing van het gasverbruik, en constateerden dat een grotere temperatuurbandbreedte een grotere gasbesparing opleverde. Bij 21°C , een bandbreedte van 7°C en een integratieperiode van 72 uur bedroeg de berekende besparing op jaarbasis ten opzichte van een reguliere teelt 29% ($14.5 \text{ m}^3 \text{ m}^2$). Een bredere bandbreedte van 12°C gaf een besparing van 35%. Een kortere integratieperiode leverde minder besparing. Janse *et al.* (2004b) voerden experimenten op het gebied van temperatuurintegratie uit met de heteluchteelt van sla en radijs, en vonden een gemiddelde energiebesparing van 9%, en tijdens piekuren een vermindering van 30%. Met betrekking tot komkommer zijn verkenningen uitgevoerd in het energieproject 'Energie in kengetallen' (Dueck *et al.*, 2004; Elings *et al.*, 2004). Uitgaande van een jaarlijks gasverbruik van $47.3 \text{ m}^3 \text{ m}^2$ werd voor het toepassen van 24-uurs temperatuurintegratie met een bandbreedte van 2°C een gasbesparing van 3.4% berekend, en voor het toepassen van een 72-uurs temperatuurintegratie een gasbesparing van 3.6%. Deze energiebesparing werd grotendeels bereikt door een reductie van de verdamping, die met 1.5% daalde. De berekeningen van Dueck *et al.* wezen op een lichte verlaging van de jaarlijkse productie, respectievelijk 0.8 en 3.3%. Een mogelijke verklaring voor het grote verschil in energiebesparing tussen de twee studies ligt in het feit dat in de referentiesituatie in de oudste studie (Van de Braak en De Zwart) al vanaf februari tot het einde van de teelt de stooklijn en ventilatielijn slechts 0.5°C van elkaar af lagen, terwijl in de latere studie (Dueck *et al.*) alleen in hartje zomer flink werd gelucht. In het voor- en najaar werd bij Dueck *et al.* een ruime dode zone tussen stook- en ventilatielijn gehanteerd, waardoor er reeds een passieve vorm temperatuurintegratie werd toegepast. Bovendien is er in de studie van Dueck *et al.* intensief gebruik gemaakt van minimumbuis, wat per definitie leidt tot relatief grote ventilatieverliezen.

Kan er meer worden bereikt?

Bij het beantwoorden van de vraag of er meer kan worden bereikt dient eerst te worden gekeken of het aanbod van assimilaten kan worden verbeterd. Dit kan onder de gangbare kasomstandigheden worden gerealiseerd door een hogere straling of een hogere CO_2 concentratie. Temperatuur heeft een veel kleiner effect. Het aanbod van assimilaten zou kunnen worden verbeterd door minder te schermen of assimilatiebelichting toe te passen. Echter, meer schermen tijdens de meest zonnige uren op een dag heeft al snel een negatief effect op de productie, minder schermen leidt tot temperatuurproblemen, en het toepassen van assimilatiebelichting is kostbaar. Als wordt uitgegaan van hoge CO_2 -concentraties in de winter, dan heeft toedienen van extra CO_2 slechts een beperkt effect. In de winter is er vaak een CO_2 -overschot, zodat bijstoken niet nodig is om extra CO_2 te verkrijgen, maar als bijstoken nodig is, dan zal dit snel gepaard gaan met warmtevernietiging, wat energetisch niet aantrekkelijk is. In de zomer, in verband met de open ramen, kunnen hoge CO_2 concentraties niet worden gerealiseerd. Al is het de moeite waard de

optimale combinatie van maatregelen te zoeken, lijken de mogelijkheden beperkt om op korte termijn het assimilatenaanbod te beïnvloeden.

Blijft over de vraag of de verdeling van assimilaten kan worden verbeterd, waarbij de temperatuur een belangrijke rol speelt. Temperatuurintegratie laat de gemiddelde temperatuur op de lange termijn ongemoeid, omdat er vanuit wordt gegaan dat, als de temperatuur over een langere periode wordt verlaagd, dit consequenties heeft voor het gewas. Een temperatuurverlaging kan leiden tot een langzamere ontwikkeling van het bladoppervlak en hierdoor tot een afnemende productie. Dit werd bijvoorbeeld in tomaat gevonden (Kaarsemaker & Van Rijssel, 2003): teelttemperaturen lager dan 19°C veroorzaakten een lagere productie door een vertraagde ontwikkeling en een lager vruchtgewicht (al werd er bij een hogere temperatuur ook een lager vruchtgewicht gevonden, wat meer in lijn is met de verwachting). Dueck *et al.* (2004) berekenden dat op jaarbasis een verlaging van het temperatuursetpoint met 2°C weliswaar leidt tot 13.7% reductie van het gasverbruik, maar ook tot 9.2% productieverlaging. Dit laatste is uiteraard niet gewenst.

De bandbreedte die in het geval van temperatuurintegratie wordt gehanteerd is in veel gevallen niet erg extreem. Men laat bijvoorbeeld bij een gemiddelde temperatuur van 20°C te komen de momentane temperatuur fluctueren tussen 17 en 23°C. Er zijn aanwijzingen zijn dat een komkommern gewas geen moeite heeft met ruimere grenzen. Het temperatuuroptimum voor de fotosynthese is erg breed (zie Figuur 2.1). Mogelijke problemen rijzen eerder bij andere groei- en ontwikkelingsprocessen, die in het algemeen een smaller temperatuuroptimum hebben (Loomis & Connor, 1996). Janse (2003) heeft onderzoek gedaan naar de minimale temperatuurgrenzen bij komkommer. De etmaaltemperatuur werd van 20°C gedurende een bepaalde periode teruggebracht tot 16°C, 12°C of 10°C, dusdanig dat de totale temperatuurafwijking steeds 24 d°C bedroeg. Na afloop van de periode werd een etmaaltemperatuur van 22°C aangehouden totdat de temperatuursom gelijk aan die van de normale teelt was. De waarnemingen wezen uit dat de productie niet door deze temperatuurverlaging werd beïnvloed, al daalde de kwaliteit van sommige behandelingen periodiek. Een eventuele tijdelijke daling in aantal geoogste vruchten werd in een later stadium weer gecompenseerd.

Bij de huidige kennis van zaken lijkt het dus mogelijk om ruimer met de etmaaltemperatuur te fluctueren dan in de teelt gebruikelijk is, mits er voor wordt gezorgd dat op de langere termijn de gemiddelde etmaaltemperatuur constant blijft.

Temperatuur afgestemd op lichtniveau

Een halve eeuw geleden werd er al nagedacht over het afstemmen van de temperatuur op het lichtniveau (Seemann, 1956). Dit heeft twee aspecten:

- Een energetisch aspect. Door het warmteoverschot van zonnige dagen uit te wisselen tegen het warmtetekort van koude dagen, is het mogelijk om over het geheel genomen minder energie te gebruiken.
- Gewasfysiologische aspecten. In dit project wordt uitgegaan van het nastreven van een vaste verhouding tussen de temperatuurgestuurde vraag naar assimilaten en het stralingsgestuurde aanbod van assimilaten. Dit in aanvulling op de analyse van Ludolph & Hendriks (1989), die stelden dat een gewas op een dag met veel straling een hoge temperatuur nodig heeft om de assimilaten te verbruiken, en op een koude dag een lage temperatuur nodig heeft om de onderhoudsademhaling te beperken.

In de jaren '70 van de 20^e eeuw werd het werk aan het afstemmen van de temperatuur op het lichtniveau weer opgepakt vanwege de toenmalige energiecrisis. Calvert en Slack (1974) testten een aantal lichtafhankelijke temperatuurregelingen bij tomaat, en vonden in een aantal gevallen productieverhoging of energiebesparing. Papehagen (1977) daarentegen realiseerde bij *Euphorbia pulcherrima* (Poinsettia, kerstster) 21% energiebesparing als een lichtafhankelijke temperatuurregeling werd toegepast, en Van Uffelen & Heij (1977) realiseerden 8% productiestijging in komkommer als een stralingsafhankelijke nachttemperatuur werd ingesteld. Het onderwerp keerde terug op de agenda toen de energieprijzen weer begonnen te stijgen. Ludolph & Hendriks (1989) bereikten met Poinsettia een energiebesparing van 20%. In vergelijking met een constante nachttemperatuur leverde bij tomaat een stralingsafhankelijke controle van de nachttemperatuur een energiebesparing van 30%, zonder de opbrengst en de kwaliteit te beïnvloeden (Gary, 1989). Seginer *et al.* (1994), in een modelstudie, bevestigden dat de optimale gemiddelde

temperatuur positief gecorreleerd is aan de hoeveelheid licht op seizoensbasis. Onderzoek aan courgette toonde aan dat een momentane stralingsafhankelijke temperatuurregeling 17% energie bespaarde (Janse *et al.*, 2005). Dieleman *et al.* (2005) berekenden voor paprika een energiebesparing van 6% door meer gebruik te maken van zonnewarmte zonder dat groei en productie negatief werden beïnvloed. Hierbij werd eerst, op basis van de straling, het temperatuurprofiel geoptimaliseerd en vervolgens de CO₂-dosering.

Het concept van de 'Ratio of Radiant to Thermal Energy' (RRT) werd geïntroduceerd in de jaren '80 en '90 van de vorige eeuw (Heins *et al.*, 1986; Liu & Heins, 1997, 1998). Dit werd beschouwd als een bruikbare parameter voor gewasgroei en -ontwikkeling en kwaliteitsbeheersing. Straling (Radiant Energy) stuurt de fotosynthese en groei, en temperatuur (Thermal Energy) stuurt primair ontwikkelingsprocessen, maar ook drogestoftoename. In Nederland is dit concept recentelijk toegepast in paprika (Buwalda *et al.*, 2003), wat resulteerde in een energiebesparing van 20%. Ottosen *et al.* (2005) concludeerden op basis van experimenten met *Campula*, *Primula* en *Argyranthemum* dat energie kan worden bespaard en productkwaliteit kan worden gehandhaafd, als gecombineerd gebruik wordt gemaakt van een klimaatregeling die enerzijds de drogestoftoename controleert (dus gebruik maakt van de straling), en anderzijds via de gemiddelde temperatuur de productieduur regelt.

Ook bij telers leeft het besef dat straling en temperatuur nauw met elkaar in verband staan. Een aanbeveling vanuit een recente workshop met telers luidde: 'Stralingssom en temperatuursom moeten met elkaar in evenwicht blijven' (Grashoff *et al.*, 2004).

Denken vanuit het gewas: de assimilatenbalans

Veel klimaatregelingen, ook temperatuurintegratie, redeneren in wezen vanuit het klimaat, dat naar menselijke maatstaven niet te sterk mag fluctueren. In een workshop van potplantentelers werd erkend dat 'De beperking bij toepassing van temperatuurintegratie vormt de teler; de plant is flexibeler' (De Gelder, 2003).

In het project 'Flexibele meerdaagse temperatuurinstelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas' (MTI) wordt uitdrukkelijk geredeneerd vanuit de fysiologie van het gewas, en is het kasklimaat hier een afgeleide van. Centraal in de fysiologie van een gewas staan de assimilatenstromen naar de vruchten en de vegetatieve delen, en het doel om deze stromen zo stabiel mogelijk te houden. Niet in absolute zin, omdat dit zou verlangen dat de aanmaak van assimilaten op iedere dag van het jaar hetzelfde zou zijn. Met de grote veranderingen over het jaar heen in zonnestraling is dit niet mogelijk. Het stabiliseren van de assimilatenstromen richt zich op het constant houden van de verhouding tussen aanbod en vraag van assimilaten: de assimilatenbalans. Het aanbod van assimilaten wordt in sterke mate bepaald door de hoeveelheid straling, terwijl de vraag naar assimilaten in sterke mate wordt bepaald door de temperatuur en de plantbelasting. Als de straling hoog is, moet er voor worden gezorgd dat de temperatuur ook hoog is, en omgekeerd, als de straling laag is, moet er voor worden gezorgd dat ook de temperatuur laag is. Op deze manier blijft de assimilatenbalans zo constant mogelijk. Omdat het stralingsniveau van dag tot dag fors kan fluctueren, moet de etmaaltemperatuur net zo sterk mee fluctueren.

Dat bij een langdurige onbalans tussen temperatuur en straling de assimilatenbalans kan worden verstoord, blijkt uit recent onderzoek aan roos. Dieleman & Meinen (2006) pasten 14-daagse temperatuurintegratie toe waarbij temperatuur en licht in tegenfase werden gehouden (zie ook Dieleman, 2003). Het zetmeelgehalte in het blad bleek sterk te fluctueren met de tijd. In de week dat de lichtintensiteit hoog was en de temperatuur laag, werden er door de fotosynthese mee assimilaten aangemaakt dan konden worden gebruikt voor groei en ademhaling, waardoor het zetmeelgehalte in het blad toenam. In de week dat de temperatuur hoog was en de lichtintensiteit laag, werd nagenoeg de hele zetmeelvoorraad weer verbruikt. Het fotosyntheseproces raakte verstoord, en de assimilatenbuffer uit balans. Dit vertaalde zich (nog) niet in gereduceerde groei of vertraagde ontwikkeling.

Uit Figuren 3.1, 3.3 en 3.5 blijkt dat het laten fluctueren van de etmaaltemperatuur tussen 15 en 25°C voldoende is om er op de meeste dagen voor te zorgen dat de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd. Door beperkingen aan de klimaatregelingen is een volledige stabilisatie van de assimilatenbalans niet haalbaar (Figuur 4.5), maar wordt iedere dag de assimilatenbalans wel in de richting van de streefwaarde gedempt.

Stabieler en betere vruchtgroei

De productie van vruchtgroenten zoals komkommer en paprika wordt gekenmerkt door pieken en dalen (zie o.a. Marcelis, 1994). Deze stabilisatie van drogestofverdeling naar de vruchten, vruchtgewicht, vruchtlengte en vruchtleeftijd is voor de telers erg belangrijk. Het maakt een betere oogstplanning en afspraken met de afzetmarkt mogelijk.

De rekenresultaten geven aan dat de assimilatenbalans een gewaseigenschap is die een centrale rol speelt in de vruchtgroei. Een gestabiliseerde assimilatenbalans resulteert in stabilisatie of verbetering van andere gewaseigenschappen. In hoofdstuk 3 en 4 is aangetoond dat, afhankelijk van het niveau waarop de assimilatenbalans wordt gestabiliseerd, de drogestofverdeling naar en de drogestofgroei van de vruchten verbetert, en het aantal geogste vruchten hoger is. De verbeterde drogestofverdeling naar de vruchten werd al eerder berekend door Marcelis (1994), wat een belangrijke aanleiding is geweest voor dit onderzoek. Als een relatief lage assimilatenbalans wordt nagestreefd, nemen het aantal geogste vruchten (Figuur 4.18), het oogstgewicht van een vrucht (Figuur 4.19) en de vruchtlengte toe (Figuur 4.20). Vruchteigenschappen worden in de winter het best gestabiliseerd; vruchtlengte en vers vruchtgewicht met name als de assimilatenbalans naar een relatief hoge waarde worden gestabiliseerd. In de zomer vindt geen stabilisatie van de vruchteigenschappen plaats, maar in de herfst kan een lichte stabilisatie worden bereikt.

De vraag kan worden gesteld of de drogestofverdeling ook kan worden beïnvloed door andere maatregelen dan via de temperatuur. In het begin van de teelt wordt het aantal stamvruchten beperkt en het gewas meer vegetatief gestuurd. Een te groot aantal vruchten in dit stadium zou tot niet of onvoldoende vruchtuigroei leiden. In het geval van komkommer wordt geen blad weggenomen (bij tomaat leidt dit tot een meer generatieve sturing), en wordt het aantal scheuten niet beïnvloed. Mogelijk kan de voedingstoestand een rol spelen. Temperatuur is echter de enige factor die op korte termijn goed te sturen is en gebruikt kan worden om snel op een veranderde situatie in te spelen.

Naast de drogestofverdeling moet ook rekening worden gehouden met een andere gewaseigenschap, namelijk het drogestofgehalte van de vruchten (Marcelis, 1994; Figuur 2.2). Ook dit wordt sterk beïnvloed door de temperatuur. Een lagere temperatuur leidt tot een hoger drogestofgehalte van de vruchten, en daarmee tot een lagere versproductie. De temperatuursverlaging kan om deze reden niet te sterk zijn. Mogelijk biedt de plantenveredeling mogelijkheden om de respons temperatuur – vruchtdrogestofgehalte aan te passen, zodat er een grotere energiebesparing mogelijk is.

Het drogestofgehalte van de vruchten moet niet lager zijn dan 2.7%. Bij dit niveau is er al kans op slechtere houdbaarheid en smaak. Een maximumwaarde aan het drogestofgehalte bestaat eigenlijk niet, omdat een hoger drogestofgehalte meestal positief werkt op de kleur en smaak. Uit Figuur 4.14 blijkt dat deze absolute ondergrens niet wordt bereikt, zodat kan worden geconcludeerd dat het toepassen van MTI niet wordt beperkt door kwaliteitsoverwegingen die aan het drogestofgehalte van de vrucht zijn gekoppeld.

Productie en energie

Eerder in deze discussie is gememoreerd dat een lichtafhankelijke temperatuursturing veel energie kan besparen. De directe voorloper van het MTI-project werd in 2003 in Naaldwijk uitgevoerd onder de titel 'Teeltoptimalisatie bij komkommer door assimilatenvraag beter af te stemmen op het assimilatenaanbod'. Hierbij werd de kastemperatuur aangepast op basis van instraling en plantbelasting, waarbij de behandelingen verschillende bandbreedtes kenden waarbinnen de temperatuur gevarieerd kon worden (Janse *et al.*, 2004a). Dit onderzoek is modelmatig ondersteund en geanalyseerd door Elings en Marcelis (2004). Het energieverbruik in de behandeling was 14% hoger dan in de controle, waarvoor diverse mogelijke oorzaken werden genoemd (Janse *et al.*, 2004a). De rekenresultaten van het MTI-project (waarbij de M staat voor Meerdaags) suggereren dat een belangrijke oorzaak kan zijn geweest dat er geen gebruik werd gemaakt van de mogelijkheid om tussen meerdere dagen tekorten en overschotten van energie tegen elkaar uit te wisselen.

In energetische zin kan op twee manieren naar de rekenresultaten worden gekeken, namelijk door de relatie tussen de gemiddelde etmaaltemperatuur en versproductie te analyseren (Figuur 4.16), en door de relatie tussen het totale gasverbruik en de versproductie te analyseren. De eerste analyse legt de koppeling met het te realiseren klimaat, terwijl de tweede analyse de energiebesparing in kaart brengt (Figuur 4.17).

Winter

- Als MTI wordt toegepast, kan de teler een ongeveer 1°C lagere gemiddelde temperatuur realiseren zonder dat de versproductie hieronder lijdt. De teler kan er ook voor kiezen om bij dezelfde temperatuur een ongeveer 1.3 kg m⁻² hogere versproductie realiseren.
- Energie kan worden bespaard door MTI toe te passen en te streven naar de 80-85% lijn in geval van MTI + EB, en te streven naar de 95-100% lijn in geval van MTI – EB. MTI + EB is iets zuiniger met energie dan MTI – EB, zodat de assimilatenbalans het beste kan worden gestabiliseerd in combinatie met energiebesparing. **Het gasverbruik kan in de winter op deze manier met 2.25 m³ m⁻² worden gereduceerd.** De teler kan bij hetzelfde gasverbruik in de winter de versproductie verhogen door zonder energiebesparing de assimilatenbalans te stabiliseren naar de 95-90% lijn. **De gesimuleerde versproductie stijgt in dit geval met ongeveer 1.5 kg m⁻².**

Zomer

- Met MTI kan de versproductie niet worden verbeterd bij gelijkblijvende temperatuur. Alleen temperatuurstijging maakt dit mogelijk.
- Het verband tussen gasverbruik en versproductie (Figuur 4.16) toont echter aan dat de versproductie wel stijgt bij hetzelfde gasverbruik als MTI wordt toegepast. Dit is het gevolg van het feit dat dezelfde gemiddelde temperatuur bij een lager gasverbruik kan worden gerealiseerd. De teler kan er voor kiezen om bij MTI + EB te streven naar de 90-95%-lijn om zonder productiederving **het gasverbruik met 1.5 m³ m⁻² te reduceren**, of kan streven naar de 80%-lijn om bij gelijkblijvend gasverbruik een **stijging van de versproductie van 1.9 kg m⁻²** te realiseren.

Herfst

- **De versproductie is ongeveer 1.0 kg m⁻² hoger** bij dezelfde gemiddelde temperatuur of hetzelfde gasverbruik als MTI wordt toegepast (Figuur 4.16). Ook is het mogelijk om dezelfde versproductie te realiseren bij een lagere gemiddelde temperatuur of een **1.5 m³ m⁻² lager gasverbruik**, als MTI wordt toegepast.

Opvallend is overigens het feit dat de relatie tussen seizoenstemperatuur en gasverbruik niet wordt beïnvloed door het al dan niet energiezuinig toepassen van MTI (Figuur 4.7). Het punt is dat met het toepassen van MTI in combinatie met energiebesparing de temperatuur verder verlaagd kan worden zonder dat de productie hier onder lijdt.

De hier gepresenteerde vorm van MTI wordt tijdens de eerste 20 dagen na planten niet toegepast, omdat het gewas dan nog sterk vegetatief is, en MTI in de huidige vorm niet het juiste instrument is om in deze periode de assimilatenbalans goed te stabiliseren. Er moet mogelijk aandacht worden gegeven aan het ontwikkelen van een aangepast regelinstrument.

Houter *et al.* (2004) presenteerden een aangepaste vochtregeling, die het meest energiezuinig werkte als eerst een vochtafhankelijke vochtkier werd toegepast, gevolgd door een vochtafhankelijke minimumraamstand en een vochtafhankelijke minimum buistemperatuur. Zo'n vochtregeling, en ook nieuwe inzichten met betrekking tot een nastrevenswaardig temperatuurprofiel over een het etmaal, kunnen naadloos met MTI worden gecombineerd. Immers, het kasklimaatmodel berekent vanuit de totale set van kasklimaatinstellingen de voor elke dag de relatie tussen etmaaltemperatuur en gasverbruik. Bij verandering van instellingen veranderen deze relaties, maar blijft het onverminderd mogelijk een zo goed mogelijk traject uit te stippelen waarbij de plantbalans bij een laag energieverbruik wordt gestabiliseerd.

Andere gewassen

Er kan worden geconcludeerd dat het toepassen van Meerdaagse Temperatuur Instelling mogelijkheden biedt om additioneel energie te besparen en/of de productie te verhogen ten opzichte van een regeling met gewone temperatuurintegratie. Verkennende berekeningen hebben aangegeven dat in het geval van paprika ook een verlaagde seizoenstemperatuur mogelijk is, wat ook voor dit gewas een energiebesparing suggereert (Elings, 2005, ongepubliceerde gegevens). Bij paprika wordt momenteel het RRT-concept verder uitgewerkt, waarbij een gelijkmatig afzetpatroon zonder productieverlies wordt nagestreefd door energiezuinige optimale stuurtrajecten te berekenen (Buwalda *et al*, 2005). Ook bij kalanchoë zijn studies verricht naar de assimilatenbalans (PPO, 2006). Er zijn geen fundamentele redenen aanwezig om toepassing van MTI bij andere gewassen op voorhand uit te sluiten.

Vervolg

De in dit rapport uitgevoerde berekeningen zijn uitgevoerd met de laatste versies van het INTKAM model en het KASPRO model. Deze modellen zijn voortdurend in ontwikkeling, waarbij nieuwe kennis wordt geïncorporeerd. Naarmate de grenzen van een systeem worden gezocht, zullen beperkingen ten aanzien van de verwerkte kennis een belangrijkere rol gaan spelen. Het is mogelijk dat nieuwe wetenschappelijke inzichten tot andere rekenresultaten zullen leiden. Het is echter vrij zinloos om hierover te gaan speculeren. Er wordt in opdracht van LNV en het PT een projectvoorstel voorbereid waarin tot doel wordt gesteld om relevante kennisleemten te inventariseren.

Er is met de huidige kennis aangetoond dat volgens modelberekeningen energie kan worden bespaard, of de productie kan worden verbeterd als de temperatuur wordt gestuurd op basis van een stabiele de assimilatenbalans. De volgende voor de hand liggende stap is om het principe van Meerdaagse Temperatuur Instelling te toetsen aan een geteeld gewas, hetzij onder experimentele omstandigheden, hetzij direct onder praktijkomstandigheden.

7. Telerssamenvatting

(Een vergelijkbare tekst is ook gepubliceerd in Groente en Fruit, 2006, 2: 22-23.)

Vraag en aanbod van assimilaten

Het licht dat door het gewas wordt onderschept wordt in de fotosynthese gebruikt om CO₂ om te zetten in assimilaten. Binnen de gebruikelijke niveaus van CO₂ en luchttemperatuur is het stralingsniveau het meest bepalend voor de aanmaak van assimilaten. De gevormde assimilaten worden gebruikt voor het onderhoud van bestaande organen (ongeveer 7%) en voor verdere groei van vruchten of bloemen, bladeren, stengels en wortels. Op seizoensbasis gaat bij een komkommernewas ongeveer 65% van de assimilaten naar de vruchten. Bij een jong gewas is dit lager omdat er nog relatief weinig vruchten aan de plant hangen, maar bij een volwassen komkommernewas gaat 70% van de assimilaten naar de vruchten.

Terwijl het aanbod van assimilaten grotendeels door de straling wordt bepaald, wordt de vraag naar assimilaten voornamelijk bepaald door de temperatuur en het aantal vruchten dat aan de plant hangt. Een hogere temperatuur heeft een hogere vraag naar assimilaten (= potentiële groei) tot gevolg.

De verdeling van de assimilaten over de aanwezige organen vindt plaats op basis van de vraag naar assimilaten van de organen. Als er op een zekere dag bijvoorbeeld 10 gram assimilaten per plant wordt aangemaakt, en als de vraag van de vruchten en de vegetatieve delen respectievelijk 1.4 en 0.6 gram per plant zijn, dat zal er $1.4/(1.4+0.6) * 10 \text{ gram} = 7 \text{ gram}$ per plant naar de vruchten gaan, en 3 gram per plant naar de vegetatieve delen gaan.

Assimilatenbalans

De verhouding tussen het aanbod van assimilaten en de vraag naar assimilaten wordt de assimilatenbalans genoemd. Doordat de straling van dag tot dag enorm kan fluctueren, fluctueert de assimilatenbalans tijdens het seizoen ook heel erg (Figuur 7.1). Deze fluctuaties hebben gevolgen voor de vruchtzetting, uitgroei, vruchtgrootte en vruchtkwaliteit. De fluctuaties kent grenzen: omdat op verreweg de meeste dagen de vraag groter is dan het aanbod, is de assimilatenbalans gewoonlijk kleiner dan één. Alleen aan het begin van de teelt, wanneer er nog geen vruchten aan de plant hangen, is het op zonnige dagen met een sterke fotosynthese mogelijk dat de vraag kleiner is dan het aanbod en dat de assimilatenbalans groter is dan één.

Het is aantrekkelijk om de assimilatenbalans te stabiliseren (Figuur 7.1). De reden ligt in het feit dat een stabiel patroon van vraag en aanbod een gunstig effect kan hebben op gewaseigenschappen zoals plantopbouw, plantbelasting en drogestofverdeling, en uiteindelijk op de productie. Daarnaast biedt de koppeling met straling en temperatuur de mogelijkheid om energie te besparen.

Om op de assimilatenbalans te sturen kan zowel het assimilatenaanbod als de assimilatenvraag worden beïnvloed. Beïnvloeding van het aanbod valt af, omdat verlaging van de zonnestraling met schermen al snel tot productievermindering leidt, en omdat verhoging van de straling met lampen wordt belemmerd door de geringe toepassing van lampen in de komkommerteelt. Blijft over beïnvloeding van de vraag naar assimilaten door de kastemperatuur aan te passen.

Productie en energie

Het feit dat de temperatuur zo'n belangrijke rol speelt bij de regulatie van de assimilatenbalans biedt mogelijkheden om op zoek te gaan naar een nieuwe energiebesparende temperatuursturing. In het door LNV en PT gefinancierde GLAMI-project 'Meerdaagse temperatuur instelling op basis van de assimilatenbalans van het gewas' wordt dit ten uitvoer gebracht.

Er kan met de zon mee worden gestookt. Op zonnige dagen is een hoge temperatuur gewenst om de assimilatenbalans niet te veel te laten afwijken, en op donkere dagen is juist een relatief lage temperatuur gewenst. Aangezien dit eigenlijk al automatisch een gevolg is van de hoeveelheid zonnestraling, hoeft er minder ingegrepen te worden. Dit alleen al bespaart energie. Dit 'natuurlijke' mechanisme is niet voldoende om het onderste uit de kan te halen. Door de tijdshorizon te verlengen naar drie dagen wordt een grotere flexibiliteit in de keuze van de temperatuursetpoints verkregen. 'Tekorten' en 'overschotten' als het ware tegen elkaar worden uitgeruild.

Er zijn berekeningen met het INTKAM gewasgroei-model van PRI en het KASPRO kasklimaatmodel van A&F uitgevoerd. Hierbij geeft KASPRO aan wat qua temperatuur binnen de setpoints haalbaar is, en geeft INTKAM aan wat de gevolgen voor het gewas zijn.

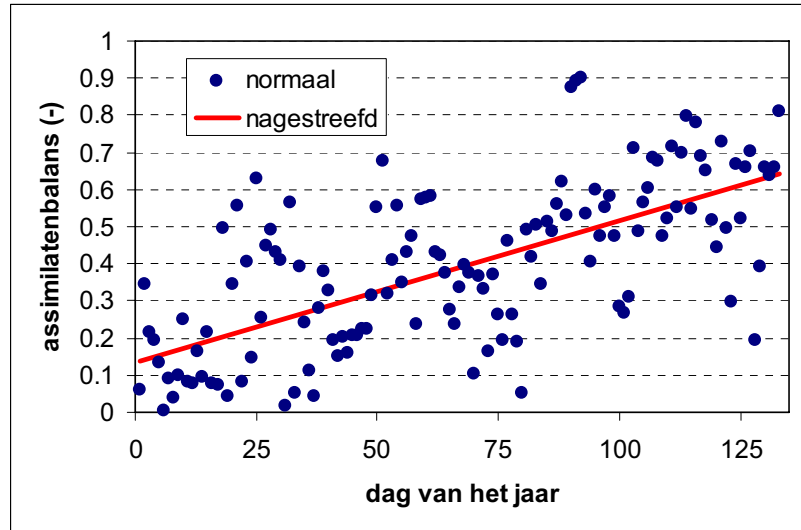
Er is eerst zuiver vanuit het gewas geredeneerd. Het blijkt dat door het stabiliseren van de assimilatenbalans de gemiddelde seizoenstemperatuur lager wordt, zonder dat de versproductie hier onder lijdt. De totale drogestof-toename van het gewas daalt slechts licht, want het effect van de temperatuur op de fotosynthese is beperkt. De berekeningen geven verder aan dat de drogestofverdeling naar de vruchten iets beter wordt. Al met al is het, vanuit het gewas redenerend, mogelijk om door middel van sturing op de assimilatenbalans een temperatuurverlaging te combineren met een hogere drogestofproductie. Er treden echter ook andere effecten op. Ten eerste neemt door de temperatuurverlaging de vraag naar assimilaten door de vruchten iets af. Daarnaast is uit onderzoek gebleken dat het drogestofpercentage van komkommervruchten wordt beïnvloed door de kastemperatuur. Als deze lager wordt, stijgt het drogestofpercentage van de vruchten (Figuur 7.2), wat een lagere versproductie met zich meebrengt. Er moet dus een duidelijk onderscheid worden gemaakt tussen droog- en versgewicht van de vruchten. Toch blijkt het mogelijk te zijn om door op de juiste wijze de assimilatenbalans te stabiliseren temperatuurverlaging te combineren met een stijging van de versproductie.

In de praktijk is de mate waarin de temperatuur gevarieerd kan worden om de assimilatenbalans op de gewenste waarde te brengen beperkt. In de winter kan bijvoorbeeld de stookcapaciteit te klein zijn om de temperatuur voldoende te verhogen, en in de zomer kan het onmogelijk zijn om voldoende te koelen. Deze klimaatbeperkingen, waar iedere teler mee te maken heeft, zorgen er voor dat niet alles uit het gewas kan worden gehaald wat er in zit. In vergelijking hiermee valt de versproductie lager uit, tot zo'n 2 kilo m^2 (kasoppervlak) op seizoensbasis.

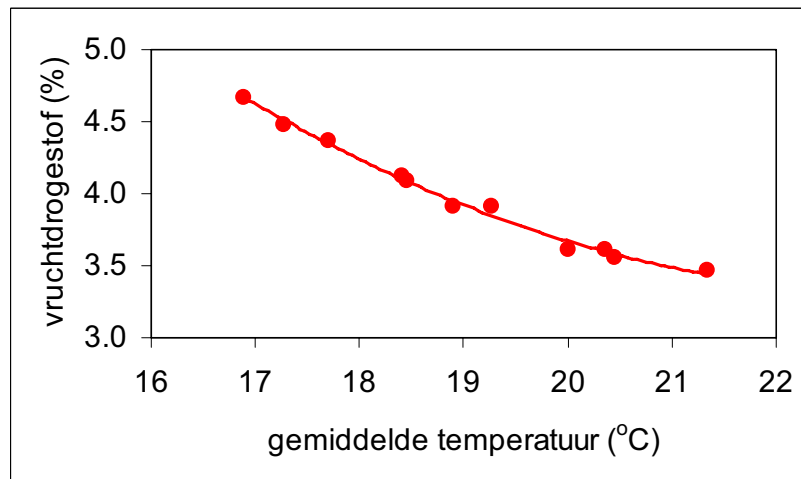
Binnen deze klimaatbeperkingen is er toch veel mogelijk. De assimilatenbalans kan op een energiezuinige wijze worden gestabiliseerd door het warmteoverschot van de ene dag uit te ruilen tegen het warmtetekort van een andere dag. Er is dan op seizoensbasis minder energie nodig om dezelfde gemiddelde temperatuur en een ongeveer gelijke productie te behalen. Als dit wordt gedaan, kan in het geval van een winterteelt en een herfstteelt bij een lager gasverbruik dezelfde productie worden gehaald (Figuur 7.3). Of het is mogelijk om bij hetzelfde energieverbruik een productiestijging te realiseren. Berekeningen geven aan dat in de winter bij eenzelfde energieverbruik de productie kan stijgen van ongeveer 27 $kg\ m^{-2}$ naar ongeveer 28,5 $kg\ m^{-2}$, of dat bij een gelijke productie het gasverbruik afneemt van ongeveer 22,5 $m^3\ m^{-2}$ naar ongeveer 20,3 $m^3\ m^{-2}$. Berekeningen voor een zomerteelt geven aan dat bij eenzelfde gasverbruik de productie kan stijgen van 33,5 $kg\ m^{-2}$ naar 35,4 $kg\ m^{-2}$, of dat bij eenzelfde productie het gasverbruik kan dalen van 6,5 $m^3\ m^{-2}$ naar 5 $m^3\ m^{-2}$. Berekeningen voor een herfstteelt geven aan dat bij eenzelfde gasverbruik de productie kan stijgen van 23 $kg\ m^{-2}$ naar 24 $kg\ m^{-2}$, of dat bij eenzelfde productie het gasverbruik kan dalen van 11,5 $m^3\ m^{-2}$ naar 10 $m^3\ m^{-2}$. Op jaarbasis kan de productie kan bij gelijk energieverbruik ten opzichte van een standaardregime met 5,3% stijgen, en kan het gasverbruik bij gelijkblijvende versproductie met 13% dalen. Dit zijn aanzienlijke besparingen.

Conclusies

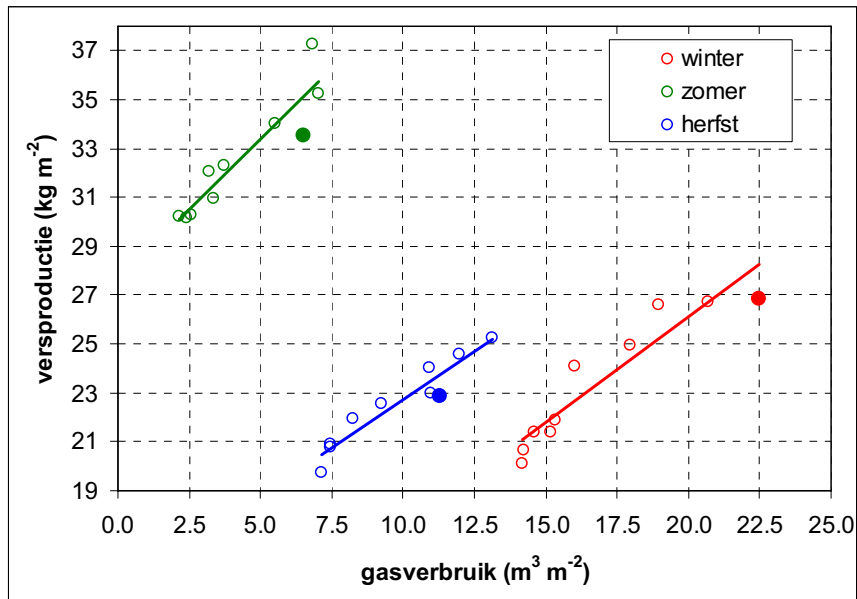
De kastemperatuur kan worden verlaagd door toepassing van meerdaagse instelling van de kastemperatuur en de assimilatenbalans te stabiliseren. De drogestofverdeling naar de vruchten verbetert, maar ook het drogestofpercentage stijgt, wat consequenties kan hebben voor de versproductie. Deze balans luistert nauw. Als het stabiliseren van de assimilatenbalans op een energiezuinige wijze wordt uitgevoerd, dan wijzen berekeningen uit dat het mogelijk is om ten opzichte van een normale teelt in alle seizoenen een hogere versproductie te bereiken en energiezuiniger te telen.



Figuur 7.1. De assimilatenbalans van een komkommervlas tijdens de winterteelt. Normaal (blauwe punten) varieert de assimilatenbalans erg. In geval van stabilisatie wordt door temperatuuraanpassing de rode lijn nagestreefd.



Figuur 7.2. Het drogestofpercentage van een komkommervrucht bij de oogst afhankelijk van de kastemperatuur. Een verlaging van de temperatuur geeft een hoger drogestofpercentage, en daarmee lager versgewicht. Let wel: dit verband is indicatief, en kan onder andere omstandigheden iets anders zijn.



Figuur 7.3. Versproductie van drie teelten in relatie tot het totale gasverbruik, als de temperatuur wordt ingesteld door naar een stabiele assimilatenbalans te streven. De open punten geven verschillende nagestreefde balansen weer. Bij de berekeningen is energiebesparing tot doel gesteld. De gesloten punten geven een normale teelt weer. Bij alle teelten is er productieverbetering of energiebesparing mogelijk.

8. Referenties

- Berg, G.A van den, F. Buwalda & E. Rijpsma, 2001.
Praktijkdemonstratie meerdaagse temperatuurintegratie. PPO rapport 501.
- Braak, N.J. van de & H.F. de Zwart, 2001.
Analyse energiebesparing door temperatuurintegratie, IMAG nota P2001-98.
- Buwalda, F., P. Haghuis, J. Kempen, H. van Gorp, P. Bouten & R. Baas, 2003.
Integratie van gewasontwikkeling in kasklimaatregeling bij vruchtgroenten. Temperatuurintegratie met grenswaarden op basis van gewaskundige criteria. PPO rapport 576, juni 2003, 47 blz.
- Buwalda, F., F. de Zwart, E. van Henten & L. Hogendonk, 2005.
Dynamische beslisondersteuning in de paprikateelt. Een verkennende studie, toegespitst op het berekenen van energiezuinige optimale stuurtrajecten voor de teelt van paprika, gericht op een gelijkmatig afzetpatroon zonder productieverlies. PPO rapport.
- Calvert, A. & G. Slack, 1974.
Light-dependent control of day temperature for early tomato crops. *Acta Hort.* 51: 163-168.
- Dieleman, J.A., E. Meinen, A. Elings, D. Uenk, J.J. Uittien, A.G.M. Broekhuijsen, P.H.B. de Visser & L.F.M. Marcelis, 2003.
Effecten van langdurig hoog CO₂ op groei en fotosynthese bij paprika. PRI nota 274.
- Dieleman, J.A., E. Meinen, G. Trouwborst & L.F.M. Marcelis, 2003.
Temperatuurintegratie bij roos. PRI nota 279.
- Dieleman, J.A. & E. Meinen, 2006.
Effects of temperature integration on rose growth in relation to light intensity (in preparation).
- Dieleman, J.A., E. Meinen, L.F.M. Marcelis, H.F. de Zwart & E.J. van Henten, 2005.
Optimisation of CO₂ and temperature in terms of crop growth and energy use. *Acta Hort.* 691: 149-154.
- Dueck, T., A. Elings, F. Kempkes, P. Knies, N. van de Braak, N. Garcia, G. Heij, J. Janse, R. Kaarsemaker, P. Korsten, R. Maaswinkel & F. van Noort, C. Reijnders, M. Ruijs & R. van der Meer, 2004.
De energiebalans in kengetallen. PRI nota's 312 (37 blz.) en 313 (basisdocument, 104 blz).
- Elings, A. & L.F.M. Marcelis, 2004.
Temperatuurregeling in komkommer, met gebruik van het INTKAM gewasmodel. PRI nota 296. 443 blz.
- Elings, A., F.L.K. Kempkes, R.C. Kaarsemaker, M.N.A. Ruijs, N.J. van de Braak & T.A. Dueck, 2004.
Quantifying the energy balance of greenhouse tomato cultivation. *Acta Hort.* 691: 67-74.
- Gary, C., 1989.
Interest of a carbon balance model for on-line growth control: the example of a daylight dependent night temperature control. *Acta Hort.* 248: 265-268.
- Gelder, A. de, 2003.
Workshop temperatuurintegratie potplanten. PPO 41616004, 19 blz.
- Grashoff, C., M.G.M. Raaphorst, J.W.M. Kempen, J. Janse, J.A. Dieleman & L.F.M. Marcelis, 2004.
Temperatuurintegratie kleine gewassen. PRI nota 307, 21 blz.
- Heins, R.D., M.G. Karlsson, J.A. Flore & W.H. Carlsson, 1986.
Effects of photosynthetic rate maximization on Chrysanthemum growth and development. *J. Am. Hort. Sci.* 111: 42-46.
- Houter, B., A. de Gelder, E. Rijpsma, M. Roos, P. Paternotte & F. de Zwart, 2004.
Energiebesparing door aangepaste vochtregulatie. PPO rapport 41616017. 61 blz.
- Janse, J., 2003.
Minimale temperatuurgrenzen bij komkommer. PPO-GT rapport 12077, 19 blz.
- Janse, J., F. Buwalda, B. Houter & M. Raaphorst, 2005.
Stralingsafhankelijke temperatuur bij courgette. PPO publicatie 41717029. 52 blz.
- Janse, J., B. Houter, B. Berkhout & E. Rijpsma, 2004a.
Optimalisatie temperatuur komkommer. PPO rapport 41704613. 31 blz.
- Janse, J., B. Houter, E. Rijpsma & B. Berkhout, 2004b.
Temperatuurintegratie op heteluchtbedrijven met sla en radijs. PPO rapport 41717028. 38 blz.

- Kaarsemaker, R. & E. van Rijssel, 2003.
Temperatuurgrenzen bij tomaat. PPO publicatie 41705084, 23 blz.
- Liu, B. & R.D. Heins, 1997.
Is plant quality related to the ratio of radiant energy to thermal energy? *Acta Hort.* 435: 171-182.
- Liu, B. & R.D. Heins, 1998.
Modeling *Poinsettia* vegetative growth and development: the response to the ratio of radiant to thermal energy. *Acta Hort.* 456: 133-142.
- Ludolph, D. & L. Hendriks, 1989.
Dynamische Regelstrategien – Grenzen und Möglichkeiten. *Zierpflanzenbau* 4: 150-154.
- Loomis, R.S. & D.J. Connor, 1996.
Crop Ecology: Productivity and Management in Agricultural Systems. Cambridge University Press, Cambridge, UK. 538 blz.
- Marcelis, L.F.M., 1993.
Fruit growth and biomass allocation to the fruits in cucumber. 2. Effects of irradiance. *Scientia Horticulturae* 54: 123-130.
- Marcelis, L.F.M., 1994.
Fruit growth and dry matter partitioning in cucumber. Proefschrift Wageningen Agricultural University, Wageningen. 173 blz.
- Marcelis, L.F.M. & H. Gijzen, 1998a.
Evaluation under commercial conditions of a model of prediction of the yield and quality of cucumber fruits. *Scientia Horticulturae* 76: 171-181.
- Marcelis, L.F.M. & H. Gijzen, 1998b.
A model for prediction of yield and quality of cucumber fruits. *Acta Horticulturae* 476: 237-242.
- Ottosen, C.-O., E. Rosenqvist, J.M. Aaslyng & L. Jacobsen, 2005.
Dynamic climate control in combination with average temperature saves energy in ornamentals. *Acta Hort.* 691: 133-139.
- Papenhagen, A., 1977.
Wie zweckmäßig ist eine lichtabhängige Temperaturführung bei Zierpflanzen?. *Gartenbauliche Versuchsberichte der Versuchsanstalten und Beispielbetriebe für Gartenbau der Landwirtschaftskammer Rheinland* 16: 277-283.
- PPO, 2006.
Temperatuurintegratie geeft meer grip op teeltresultaat. *OnderGlas*, nummer 1: 48-49.
- Rijdsdijk, A.A., J.V.M. Vogelesang, G.J.L. van Leeuwen, F.R. van Noort, G. Heij, G.E. Mulderij, J. de Hoog & H. Jasperse, 1998.
Temperatuurintegratie op etmaalbasis. PBG rapport 135.
- Rijdsdijk, A.A. & J.V.M. Vogelesang, 2000.
Temperature integration on a 24-hour base: a more efficient climate control strategy. *Acta Hort.* 519: 163-169.
- Seemann, J., 1956.
Wärteregeleung in geheizten Gewächshäusern nach ökologischen Gesichtspunkten. *Die Gartenbauwissenschaft*. 21: 102-108.
- Seginer, I., C. Gary & M. Tchamitchian, 2004.
Optimal temperature regimes for a greenhouse crop with a carbohydrate pool: a modelling study. *Scientia Hort.* 60: 55-80.
- Uffelen, J.A.M. van & G. Heij, 1977.
De nachttemperatuur bij de komkommer. *Tuinderij* 17: 54-57.
- Woerden, S.C. van (red.), 2001.
Kwantitatieve Informatie voor de Glastuinbouw 2001-2002. PPO-Glas publicatie 510.